



TUGAS AKHIR – ME141501

**JUDUL: STUDI TEKNIS DAN EKONOMIS PENGGUNAN
GAS *ENGINE* (LNG) PADA KAPAL *TUG BOAT*
UNTUK OPERASIONAL DI PELABUHAN
KHUSUS LNG *CARRIER***

OLEH :
ERIZON GIBSON MANURUNG
4212 100 108

DOSEN PEMBIMBING
Dr. I MADE ARIANA, ST. MT.

PROGRAM SARJANA
JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER



TUGAS AKHIR – ME141501

**JUDUL: TECHNICAL AND ECONOMIC STUDIES OF
USING GAS ENGINE MACHINERY SYSTEM (LNG) ON
TUG BOAT SHIP OPERATION IN SPECIAL PORT LNG
CARRIER**

**OLEH :
ERIZON GIBSON MANURUNG
4212 100 108**

**DOSEN PEMBIMBING
Dr. I MADE ARIANA, ST. MT.**

**PROGRAM SARJANA
JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**

LEMBAR PENGESAHAN

**STUDI TEKNIS DAN EKONOMIS PENGGUNAN GAS
ENGINE (LNG) PADA KAPAL TUG BOAT UNTUK
OPERASIONAL DI PELABUHAN KHUSUS LNG
CARRIER**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi Marine Power Plant (MPP)

Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

ERIZON GIBSON MANURUNG

NRP: 4112 100 108

Disetujui oleh Pembimbing Skripsi :

Dr. Eng. I Made Ariana, S.T., M.T.
NIP. 1971 0610 1995 12 1001



JULI

2016

iii

LEMBAR PENGESAHAN

**STUDI TEKNIS DAN EKONOMIS PENGGUNAN GAS
ENGINE (LNG) PADA KAPAL TUG BOAT UNTUK
OPERASIONAL DI PELABUHAN KHUSUS LNG
CARRIER**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi *Marine Power Plant* (MPP)

Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan


Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

ERIZON GIBSON MANURUNG

NRP: 4112 100 108

Disetujui oleh Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan :


Dr. Eng. M. Badrus Zaman, S.T., M.T.
NIP. 1977 0802 2008 01 1007

ABSTRAK

Adanya potensi penggunaan LNG sebagai bahan bakar pada pelabuhan khusus LNG *carrier* yang dilayani kapal *tug boat* menjadi nilai tambah pada penelitian ini. Mahalnya biaya bahan bakar dan tidak stabilnya harga bahan bakar saat ini membuat para pengusaha semakin merugi. Penelitian ini akan membahas penggunaan *gas engine* pada kapal *tug boat* yang digunakan pada pelabuhan khusus dan mengacu pada kapal *existing* yang menggunakan mesin *diesel* sebagai penggerak. Pengolahan data kapal yang ada membandingkan dua sistem permesinan yang berbeda. Setelah itu, akan didapatkan biaya operasional dari masing-masing sistem permesinan, kemudian perhitungan tersebut akan dianalisa sehingga menghasilkan *payback period* dari investasi pada kapal *tug boat* yang menggunakan sistem permesinan *gas engine*. Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan, sistem permesinan yang menggunakan *gas engine* mengeluarkan biaya bahan bakar yang lebih sedikit dibanding dengan sistem permesinan konvensional (*diesel engine*). Akan tetapi, dari segi *maintenance* biaya yang dikeluarkan untuk sistem permesinan *gas engine* lebih mahal 25% karena penggunaan beberapa *tools* khusus. Biaya minyak pelumas pada penggunaan *gas engine* juga lebih mahal karena perbedaan *power* pada kedua mesin tersebut. Namun pada hasil akhir, penggunaan mesin *gas engine* masih lebih menguntungkan 14,6% untuk harga LNG pada \$3 dibandingkan dengan penggunaan mesin konvensional (*diesel engine*).

ABSTRACT

The potential use of LNG as fuel on the special port LNG carrier served by the tug boat is an added value in this study. In the otherhand, the high cost of fuel, and the price of fuel is not stable to make ship owners more losers. In this study will investigate the use of Gas Engine on tug boat ship that is in use on a specific port (LNG port), referring to the existing ship engines that use diesel as a main engine. Data processing existing ships and comparing two different machining systems, after which it will obtain the operational costs of each system and further machining is analyzed so that the calculation would produce a payback period of the investment on the tug boat ship machining system uses a gas engine. From calculations that have been done machining systems that use less gas engine fuel cost incurred compared to conventional machining systems (diesel engine). But in terms of maintenance costs in spend on gas engine machining systems 25% more expensive due to the use of some special tools and lubricating oil costs are also more expensive to use a gas engine because of power differences in the machines. But the result is ultimately the use of the gas engine engine is still more advantageous about 14,6% for \$3 LNG price per MMBTU compared to the use of a conventional engine (diesel engine).

DAFTAR ISI

HALAMAN	
JUDUL.....	Error!
Bookmark not defined.	
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS	
AKHIR.....	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK	5
<i>ABSTRACT</i>	5
KATA	
PENGANTAR.....	Error!
Bookmark not defined.	
DAFTAR	
ISI.....	Error!
Bookmark not defined.	
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan.....	2
1.5 Luaran yang Diharapkan.....	3
1.6 Kontribusi & Manfaat.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 LNG sebagai Bahan Bakar di Kapal.....	5
2.2 Hasil Penelitian Sebelumnya.....	8

2.3.	Sistem Permesinan <i>Gas Engine</i>	11
2.3.A	Cara Kerja <i>Gas Engine</i>	13
2.4.	Sistem Permesinan <i>Diesel Engine</i>	17
2.4.A	Cara Kerja <i>Diesel Engine</i>	18
2.5.	<i>Reduction Gear</i>	24
2.6.	Sistem Propulsi yang Dipakai	24
2.7.	<i>Overview Fungsi Tug Boat</i>	26

BAB III METODOLOGI.....29

3.1	Identifikasi dan perumusan masalah.....	29
3.2	Studi Literatur.....	29
3.3	Pengumpulan Data.....	29
3.4	Perhitungan Biaya.....	30
3.5	Analisa Invetasi.....	30
3.6	Kesimpulan	30
3.7	<i>Flowchart metodologi</i>	31

BAB IV ANALISA & PEMBAHASAN.....33

4.1.	Analisa & Perencanaan Teknis	33
4.1.1.A	<i>Vessel Overview</i>	33
4.1.1.B	<i>Bunkering Station</i>	35
4.1.1.C	<i>Storage Tank</i>	35
4.1.1.D	<i>LNG Treatment</i>,	38
4.1.2	<i>Sistem Safety</i>	38

4.1.2.A <i>Gas Detection</i>	39
4.1.2.B <i>Fire Safety</i>	39
4.1.3 Stabilitas Kapal	39
 4.2. Analisa Ekonomi.....	41
4.2.1 <i>Capital Cost</i>	41
4.2.2 <i>Outcome Expenditure</i>	42
4.2.3. <i>Payback Period</i> Bahan Bakar Gas	61
4.2.3.A <i>Total Cost</i> (Tanpa Asumsi Kenaikan Harga)	64
4.2.3.B Perbandingan dengan <i>Rate Deposito</i> ...	69
 BAB V KESIMPULAN & SARAN	73
5.1. Kesimpulan	73
5.2. Saran	74
DAFTAR PUSTAKA	75
 <i>Lampiran</i>	78

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan CNG & LNG	5
Tabel 4.1 Biaya Bahan Bakar Diesel (Asumsi Kenaikan harga HSD 3% per Tahun).....	44
Tabel 4.2 Biaya Bahan Bakar <i>Gas Engine</i> \$3 & \$4.....	47
Tabel 4.3 Biaya Bahan Bakar <i>Gas Engine</i> \$5 & \$6.....	48
Tabel 4.4 Biaya Bahan Bakar <i>Gas Engine</i> \$7 & \$8.....	49
Tabel 4.5 Biaya Pelumas <i>Diesel Engine</i> (Asumsi Kenaikan 3% per Tahun)	50
Tabel 4.6 Biaya Pelumas <i>Gas Engine</i> (Asumsi Kenaikan 3% per Tahun)	51
Tabel 4.7 <i>Total Maintenance Cost Diesel Engine</i> (Asumsi Kenaikan 3% per Tahun).....	54
Tabel 4.8 <i>Total Maintenance Cost Gas Engine</i> (Asumsi Kenaikan 3% per Tahun)	55
Tabel 4.9 Total Biaya Operasional Diesel Engine (Asumsi Kenaikan 3% per Tahun).....	56
Tabel 4.10 Total Biaya Operasional <i>Gas Engine</i> (LNG \$3).....	58
Tabel 4.11 Total Selisih Operasional <i>Gas Engine</i> (LNG \$3).....	59
Tabel 4.12 Tabel <i>Payback Period</i> (Harga HSD & LNG \$3 Naik 3% per Tahun).....	61
Tabel 4.13 Total Biaya Operasional <i>Diesel Engine</i> (Harga Flat).....	64
Tabel 4.14 Total Biaya Operasional <i>Gas Engine</i> (\$3 LNG Flat).....	65

Tabel 4.15 Tabel <i>Payback Period</i> (Asumsi HSD & LNG \$3 Flat)	67
Tabel 4.16 Total Deposito (Bunga Bank \$ 0,50%).....	69

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 ECA <i>World Map</i>	7
Gambar 2.2 Tipe Tangki LNG	8
Gambar 2.3 <i>Tug Boat Gas Engine</i>	11
Gambar 2.4 Spesifikasi <i>Gas Engine</i>	12
Gambar 2.5 Langkah Hisap <i>Gas Engine</i>	14
Gambar 2.6 Langkah Kompresi <i>Gas Engine</i>	14
Gambar 2.7 Langkah Pembakaran <i>Gas Engine</i>	15
Gambar 2.8 Langkah Buang <i>Gas Engine</i>	16
Gambar 2.9 Spesifikasi <i>Diesel Engine</i>	17
Gambar 2.10 Proses Kerja Diesel 2 Tak	20
Gambar 2.11 Langkah Hisap Diesel 4 Tak	21
Gambar 2.12 Langkah Kompresi Diesel 4 Tak	22
Gambar 2.13 Langkah Pembakaran Diesel 4 Tak	23
Gambar 2.14 Langkah Buang Diesel 4 Tak	24
Gambar 2.15 <i>Reduction Gear</i>	24
Gambar 2.16 <i>Z Drive Propeller System</i>	26
Gambar 2.17 Kapal Tunda	27
Gambar 4.1 Tampak Samping.....	33
Gambar 4.2 <i>Main Deck</i>	34
Gambar 4.3 <i>Engine Room Layout</i>	34
Gambar 4.4 <i>Bunkering Station</i>	35
Gambar 4.5 Iso Tank 20"	37

Gambar 4.6 GVU	38
Gambar 4.7 <i>Cost Of Capital</i>	42
Gambar 4.8 Grafik Harga HSD	43
Gambar 4.9 Grafik Harga LNG	45
Gambar 4.10 Grafik <i>Total Cost</i>	60
Gambar 4.11 Grafik Selisih <i>Cost Capital</i> dengan <i>Total Cost</i>	61
Gambar 4.12 Grafik PBR <i>Gas Engine</i> (Asumsi Kenaikan Harga BBM 3% per Tahun).....	63
Gambar 4.13 Grafik PBR <i>Gas Engine</i> (Asumsi Harga BBM tidak Mengalami Kenaikan).....	68
Gambar 4.14 Grafik Deposito Dengan PBR (Asumsi Kenaikan Harga BBM 3% per Tahun).....	71

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Adanya potensi penggunaan LNG sebagai bahan bakar di pelabuhan khusus LNG *carrier* yang dilayani oleh kapal *tug boat* yang di gunakan dalam studi ini yang beroperasi pada pelabuhan khusus LNG *carrier* menjadi latar belakang utama pada studi ini. Disamping itu, mahalnya biaya bahan bakar saat ini yang membuat biaya operasional kapal menjadi mahal menjadi alasan berikutnya. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dilakukan analisa keekonomisan penggunaan mesin berbahan bakar gas (LNG) pada pelabuhan khusus LNG *carrier* dan akan membandingkan keekonomisannya dengan kapal yang digunakan sebelumnya (kapal *existing*) yang menggunakan mesin diesel.

Pada penelitian ini akan menggunakan gas LNG sebagai bahan bakar. Hal ini dikarenakan disamping banyaknya ketersediaan di pelabuhan khusus LNG yang dilayani, LNG memiliki kandungan metana yang lebih besar dari segi pembakarannya. Sedangkan dari segi harga, LNG lebih murah dibandingkan dengan bahan bakar minyak lainnya. Dengan adanya isu global mengenai cadangan minyak bumi inilah banyak penelitian mengenai bahan bakar gas yang dikembangkan untuk mengurangi konsumsi minyak bumi dunia terutama untuk industri maritim. Menurut Statistical Review of World Energy (2013), Indonesia akan kehabisan minyak pada tahun 2024, dengan catatan tidak ada tambahan cadangan minyak terbukti. Sedangkan untuk cadangan gas alam, Indonesia menempati posisi 11 besar dunia dengan jumlah 98 trillion cu ft (*Oil & Gas Journal*, 2005).

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian di atas, maka permasalahan utama yang akan dibahas adalah sebagai berikut:

- a. Bagaimanakah perbandingan *diesel engine* dan *gas engine* ditinjau dari segi teknis dan instalasi?
- b. Bagaimana perbandingan operasional *gas engine* dengan *diesel engine* ini ditinjau dari segi ekonomis?

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Diasumsikan bahwa LNG telah tersedia di pelabuhan yang akan di layani
- b. Tidak membahas secara detail mengenai performa *gas engine*
- c. Penelitian ini hanya berlaku pada tipe kapal yang sama. Dengan *bollard pull* 55 ton, LOA 32 m, beam 11,6 m, depth 5,36 m.
- d. Tidak membahas secara detail mengenai stabilitas kapal akibat tangki *storage* LNG.
- e. Tidak memperhitungkan biaya bahan bakar dan pelumas untuk *genset* dan permesinan bantu yang lain

1.4. Tujuan

Secara umum, tujuan penulisan tugas akhir ini adalah untuk mengetahui mana yang akan lebih menguntungkan dari segi keekonomisan dua sistem permesinan yang berbeda, yaitu antara sistem permesinan berbahan bakar *diesel*, dengan sistem permesinan berbahan bakar *gas*.

1.5. Luaran yang Diharapkan

Luaran yang diharapkan dari pengerjaan tugas akhir ini adalah:

Meningkatkan ketertarikan dari perusahaan-perusahaan maritim maupun pemerintah untuk menggunakan *gas engine*.

1.6. Kontribusi dan Manfaat

Secara umum, kontribusi dan manfaat dari penelitian ini adalah:

Sebagai acuan dan gambaran mengenai besaran investasi yang di perlukan untuk permesinan berbahan bakar *gas* (LNG) pada *tug boat*.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. LNG sebagai bahan bakar di Kapal

Gas alam kini telah banyak dimanfaatkan sebagai sumber energy, baik untuk memasak, bahan bakar industri, maupun bahan bakar transportasi seperti mobil. CNG (*Compressed Natural Gas*) telah banyak digunakan untuk bahan bakar mobil maupun truk. Gas alam dimanfaatkan sebagai sumber energi karena hasil pembakarannya yang ramah lingkungan dan jauh dari emisi polutan berbahaya. Berikut ini adalah kelebihan dan kekurangan dari penggunaan CNG dan LNG sebagai bahan bakar *main engine* di kapal.

Tabel 2.1 Perbandingan CNG & LNG (J.E. Sinor, 1991)

Kelebihan CNG	Kekurangan CNG
<ol style="list-style-type: none">1. Teknologi yang lebih matang2. <i>Simple fuel tanks</i> dan <i>pressure management</i>3. Gas/uap bukan kriogenik4. Tak ada bahan bakar yang hilang5. Desain sistem bisa di kustomisasi menyesuaikan pengaplikasiannya	<ol style="list-style-type: none">1. <i>Storage tank</i> yang besar2. Biaya kompresi energi dan pemeliharaan <i>bunkering station</i>3. Menambah berat kapal

Kelebihan LNG	Kekurangan LNG
<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Tank storage space</i> lebih sedikit 2. <i>Density</i> bahan bakar lebih baik 3. Tangki <i>storage</i> tidak terlalu berat 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Instalasi terlalu rumit 2. Menjaga <i>temperature</i> dan tekanan LNG ke <i>engine</i> cukup kompleks 3. Biaya perawatan kriogenik part yang mahal 4. Bahan bakar yang akan menguap di dalam tangki 5. Biaya perawatan lebih mahal dibanding CNG

Dari Tabel 2.1 dapat diketahui bahwa sebagai bahan bakar di kapal, LNG lebih cocok digunakan karena ruang tangki yang dibutuhkan tidak terlalu besar dan tidak terlalu signifikan menambah berat kapal. LNG telah terbukti kelayakan dan keamanan teknis sebagai bahan bakar. Penggunaan LNG sebagai bahan bakar kapal telah tumbuh pesat baik di Eropa maupun di Asia. Pada tahun 2012, telah ada 29 kapal baru yang sedang dibangun. Diperkirakan pada tahun 2020 sebanyak 2000 kapal dengan bahan bakar LNG beroperasi. Banyak penelitian yang membahas mengenai pemanfaatan LNG sebagai bahan bakar di kapal terutama di benua Eropa dan Amerika, terkait dengan aturan IMO Tier III (*Emission Control Area*) yang telah diterapkan pada 1 Januari 2016 ini.



Gambar 2.1 ECA world map

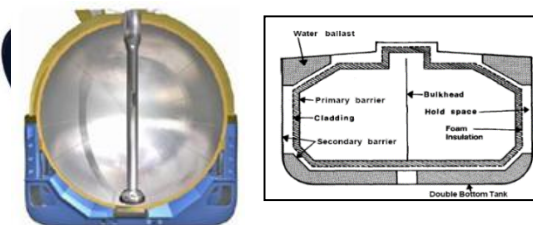
Sumber: <http://www.dieselduck.info/blog/2012/07/na-eca-well-maybe-2/>

Gambar 2.1 memperlihatkan bahwa terdapat kemungkinan pada tahun 2016, selat Malaka akan menerapkan ECA (*Emission Control Area*) sehingga untuk berlayar ke Singapura, kapal dari Indonesia harus memenuhi standard emisi ECA (TIER III), meskipun di Indonesia belum mengarah ke ECA maupun Tier III.

Di Indonesia sendiri, LNG lebih banyak diekspor dibandingkan digunakan untuk pemenuhan kebutuhan industri di darat, maupun industri maritim. Banyak permasalahan untuk mengaplikasikan LNG sebagai bahan bakar di kapal seperti biaya modifikasi fasilitas di pelabuhan. Jika ingin memodifikasi kapal, maka harus diperhatikan ketersediaan ruang untuk penempatan tangki LNG dan perlengkapannya, perubahan stabilitas akibat penambahan tangki LNG, serta keuntungan dari modifikasi kapal berbahan bakar minyak menjadi kapal berbahan bakar *gas*.

2.2. Hasil Penelitian Sebelumnya

Penelitian mengenai LNG sebagai bahan bakar alternatif baik di industri darat, maupun industri maritim sangat gencar dilakukan. LNG sebagai bahan bakar alternatif di kapal. Pada penelitian *LNG as Marine a Fuel Possibilities and problems* yang disusun oleh Jerzy Herdzik pada tahun 2011, fokus utama penulis yaitu nilai ekonomi dari LNG dibandingkan dengan HFO, dilihat dari fluktuasi harga per tahun, sedangkan untuk masalah teknis pada paper ini hanya membahas mengenai solusi mengatasi masalah *knocking* pada penggunaan gas sebagai bahan bakar kapal. Penelitian ini merekomendasikan *storage tank* di kapal yang lebih hemat tempat dan LNG sebagai *marine fuel* sangat cocok untuk memenuhi standard TIER III dari IMO. Dengan teknologi yang ada saat ini, ukuran LNG tank lebih *compact* dan peralatan yang digunakan lebih menghemat ruang untuk instalasinya. Berikut ini adalah contoh tipe-tipe tangki LNG yang ada sampai saat ini.



Gambar 2.2 Tipe Tangki LNG

Sedangkan pada penelitian *Car Ferry LNG Fuel Conversion Feasibility Study* (Madson, 2011), fokus dari penelitian ini adalah membandingkan konsumsi bahan bakar dan emisi pada kapal ferry yang menggunakan *gas fuel main engine*, dengan *dual fuel gas engine*. Dari segi teknis paper ini banyak membahas segala aspek yang perlu dipertimbangkan dalam mendukung *dual fuel*, maupun *gas engine* baik dari stabilitas kapal, struktur konstruksi untuk tangki, dan *safety*.

Kekurangan dari paper ini adalah *layout* dari pipingnya, serta biaya yang dikeluarkan untuk mengganti *main engine* tidak dimunculkan. Selain itu, paper ini hanya bisa diaplikasikan untuk kapal baru saja. Jika modifikasi *dual fuel engine* maupun *gas fuel engine* dilakukan pada kapal baru, tidak akan terlalu sulit untuk mengatur letak tangki *storage* LNG dan juga lokasi untuk perlengkapan yang mendukung LNG tersebut. Kesulitan utama saat memodifikasi adalah pengaturan ruang untuk tangki LNG, alat pendukungnya, serta masalah pemindahan ruang jika dibutuhkan untuk mendukung sistem LNG ke *main engine*. Pada *engine room* pun juga harus diperhatikan ketersediaan ruangnya.

Pada penelitian selanjutnya adalah *Feasibility of Dual Fuel Engines in Short Sea Shipping Lines* (Delgado, 2012) berfokus pada studi kelayakan pada kapal *Short Sea Shipping* di daerah Eropa yang akan menjalankan aturan ECA di tahun 2015. Selain membahas ekonomis, penelitian ini juga membahas mengenai teknis instalasi di kapal. Hasil dari penelitian ini adalah jarak tempuh maksimal yang efisien untuk mengurangi dimensi LNG tank yang akan dipasang di kapal adalah 500 *nautical miles*. Namun hal tersebut juga harus didukung dengan *bunkering* LNG yang tersedia di setiap pelabuhan yang ada dalam rute kapal yang dilewati jika kapal melayani pelayaran di luar pelabuhan LNG yang dilayani untuk bongkar muat.

Dari segi teknis, Delgado menggunakan aturan DNV namun tidak terlalu dibahas karena pada paper ini penulis juga berupaya membandingkan besarnya biaya investasi *dual fuel* dibandingkan dengan metode lain untuk mengurangi emisi (*wet scrubber open loop*, *wet scrubber close*, *wet scrubber hybrid*, *loop dry scrubber*, *EGR system*, *Selective Catalytic Reduction*, *low sulphur fuels*, dan lain-lain) dari perbandingan masing-masing metode LNG yang paling memungkinkan, karena emisi turun, dan juga konsumsi bahan bakar lebih sedikit dibanding metode yang lainnya. Analisa ekonomi yang digunakan adalah NPV selama 20 tahun, serta untuk analisa ekonomi seharusnya di sertakan IRR (*Internal Rate Return*) sebagai parameter lain untuk meyakinkan investor. Kekurangan

dari penelitian ini adalah tidak memperhitungkan pengaruh tambahan tangki LNG pada stabilitas kapal.

Pada penelitian *LNG as fuel ship in Iceland* (Gudrun, 2013) membahas mengenai *feasibility* dari *dual fuel* yang akan digunakan pada kapal penangkap ikan di Islandia dengan menganalisa teknis dan ekonomi penggunaan *dual fuel*. Hasil dari penelitian ini adalah penggunaan LNG sebagai bahan bakar sangat sesuai dengan standar emisi yang akan berlaku di Eropa yaitu TIER III. Ditinjau dari segi ekonomi, LNG lebih menguntungkan karena harganya yang lebih meskipun dari segi teknis LNG banyak memakan ruang yang tersedia di kapal ikan. Kekurangan dari paper ini adalah penulis tidak memperhatikan mengenai efek penambahan tangki LNG terhadap stabilitas kapal dan juga untuk solusi penempatan tangki LNG agar tidak makan tempat adalah menggunakan LNG pac.

Dari beberapa penelitian yang telah di review, maka muncul ide untuk melakukan studi keekonomisan penggunaan sistem permesinan berbahan bakar gas (LNG) di Indonesia dikarenakan negara Indonesia adalah penghasil LNG no 11 di dunia. Studi keekonomisan *gas engine* ini nantinya akan menggunakan contoh kasus pada kapal tipe *Tug Boat*.

Studi keekonomisan ini akan membahas analisa ekonomi dari dua sistem permesinan yang berbeda, yaitu sistem permesinan berbahan bakar gas (LNG) dengan sistem permesinan berbahan bakar *diesel* sehingga akan mengetahui sistem permesinan mana yang lebih ekonomis (lebih sedikit biaya operasional) di gunakan ditinjau dari perhitungan kebutuhan bahan bakar, biaya *maintenance* dan juga biaya *oil lubricating* sehingga dari hasil perhitungan tersebut akan terlihat total biaya yang di perlukan.

Studi keekonomisan ini dilakukan untuk menjadi bahan pertimbangan suatu perusahaan dalam melakukan investasi atau pengembangan perusahaan. Studi kelayakan bisnis sering disebut juga sebagai *feasible study*. Suatu usaha yang diusulkan/direncanakan dikatakan layak jika dalam

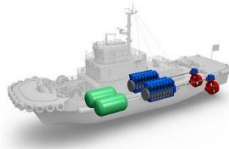
pelaksanaannya dapat memberikan manfaat finansial maupun sosial.

2.3. Sistem Permesinan *Gas Engine*

Pada penelitian ini dengan perbandingan sistem permesinan yang pada *gas engine* udara murni yang dihisap akan dicampurkan dengan gas LNG sehingga hanya gas LNG saja yang dibutuhkan supaya terjadi ledakan. Pengoperasian dengan mode *gas engine* ini dapat mengurangi emisi-emisi oksida nitrogen (NO_x) mendekati 85%. Selain itu, pada saat beroperasi dengan gas alam dan bahan bakar berkadar belerang rendah, motor-motor diesel berbahan bakar gas menghasilkan level-level kandungan SO_x dan PM nyaris nol. (ABS, 2012)

Pada kapal *tug boat* dengan sistem permesinan gas akan ditambahkan beberapa peralatan tambahan demi untuk mencapai efisiensi kapal yang maksimal sehingga akan menghasilkan profit yang banyak bagi perusahaan pengguna kapal *tug boat* dengan sistem permesinan gas (LNG).

Berikut adalah contoh kapal *tug boat* yang telah menggunakan bahan bakar *gas* pada sistem permesinannya.



Gambar 2.3 *Tug Boat Gas Engine System*

Kapal yang menggunakan mesin *gas* ini akan menggunakan mesin dengan merk Bergen dengan seri C26:33L8PG dengan daya 1940 kw pada kondisi MCR, sedangkan yang digunakan sebagai perbandingan dengan menggunakan mesin *diesel* yaitu menggunakan merk Niigata dengan seri 6L28HX dengan daya 1838 kw pada kondisi MCR.

Berikut adalah spesifikasi masing-masing *engine*:

Gas Engine

Features

- compact and powerful
- exceptionally low emissions of NOx, CO2, SOx and particulate
- low energy consumption
- service friendly
- optimum response at all engine load points (Variable Turbo Geometry)
- super silent resilient mounting
- stable frequency
- 24/7 support by Rolls-Royce global service network

Choose Rolls-Royce engines for cost-effective operation.

For more than sixty years of operation, we have produced low stroke medium speed engines for marine propulsion, generating set and power generation to customers world wide.



Technical data for the Rolls-Royce C-engine at 900 - 1000 rpm

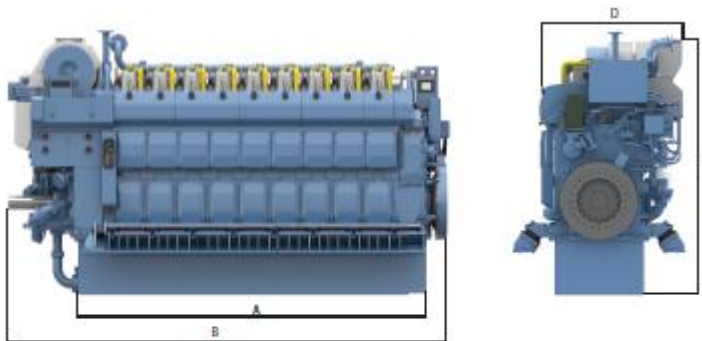
Engine type		C26c33LaPG	C26c33LaPG ⁺	C26c33LaPG
Number of cylinders		6	8	9
Engine speed	r/min	900/1000	900/1000	900/1000
Mean piston speed	m/s	10/11	10/11	10/11
Max. continuous rating	(MCR) kW	1480/1620	1940/2160	2190/2430
Mean effective pressure	(IMEP) bar	18.5	18.5	18.5
Specific energy consumption	kg/kWh	7450/7500	7450/7500	7450/7500
Specific lubricating oil consumption	g/kWh	0.4	0.4	0.4
Cooling water temp. engine outlet	°C	90	90	90

The performance data is based on

Marine gas engine ratings are according to ISO 3046-1, at maximum 45°C ambient air temperature and maximum 32°C sea water temperature.
Specific fuel gas consumption including engine driven pumps is based on reference natural gas with Methane number above 70 and net calorific value of 36 MJ/m³.

If there are engine driven pumps, add 0.5% for each pump. Gas fired temperature is 20-40°C. Minimum gas fired pressure to Gas Regulating Unit to be 4.5 barg.

Gambar 2.4 Spesifikasi Gas Engine (LNG)



Principal dimensions

Cylinder dia. 260 mm. Piston stroke 330 mm.

All dimensions in mm.

Engine type	A	B	C	D	Weight dry engine
C260L9PG	3170	4036	3195	1748	17500 kg
C260L8PG	3930	4796	3195	1748	20200 kg
C260L9PG	4310	5176	3230	1842	23900 kg

Gambar 2.6 Spesifikasi Gas Engine

2.3.A Cara Kerja Gas Engine

Prinsip kerja pada *gas engine* sebenarnya tidak jauh berbeda dengan sistem kerja mesin konvensional (*diesel engine*). *Gas engine* saat ini kebanyakan menggunakan 4 langkah, yaitu:

a. Langkah Hisap

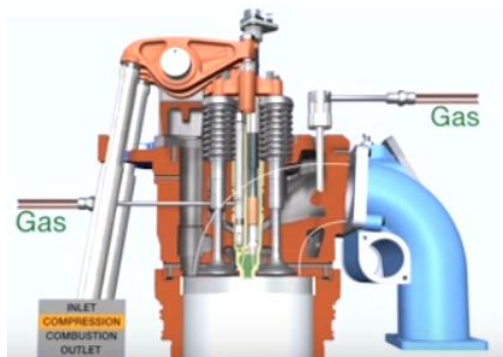
Pada langkah kerja ini, udara di campur bersama dengan gas sebelum *valve inlet* dan campuran tersebut dikompresikan ke ruang bakar saat fase pengompresian. Pada saat langkah hisap ini, gas juga akan dikabutkan ke ruang pembakaran.



Gambar 2.5 Langkah Hisap

b. Langkah Kompresi

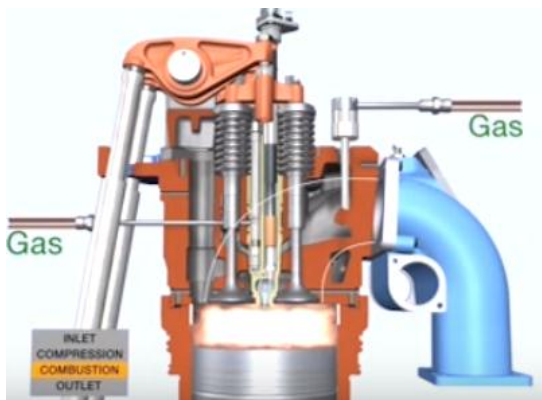
Langkah kompresi yaitu piston bergerak dari TMB (titik mati bawah) ke TMA (titik mati atas). Posisi katup masuk dan keluar tertutup sehingga mengakibatkan udara atau gas dalam ruang bakar terkompresi beberapa saat sebelum piston sampai pada posisi TMA (titik mati atas). Tujuan dari langkah kompresi ini yaitu untuk meningkatkan *temperature* sehingga campuran udara dan juga bahan bakar gas (LNG) dapat bersenyawa.



Gambar 2.6 Langkah Kompresi

c. Langkah Pembakaran

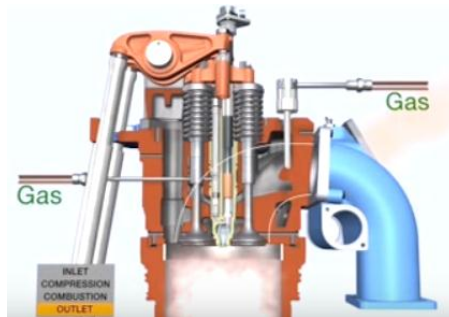
Langkah ini dimulai dengan menyalakan busi yang menyebabkan terbakarnya bahan bakar (campuran udara dan bahan bakar gas LNG) tadi. Proses pembakaran tersebut akan menyebabkan ledakan yang akan mendorong piston menuju ke bawah untuk mengerjakan Kruk AS (*cranksaft*).



Gambar 2.7 Langkah Pembakaran

d. Langkah Buang

Dalam langkah ini piston akan bergerak naik ke TMA dan mendorong sisa gas buang keluar melalui katup buang yang sudah terbuka. Pada akhir langkah buang udara segar dan campuran bahan bakar gas (LNG), akan masuk dan ikut mendorong sisa gas bekas keluar dan proses kerja selanjutnya akan dimulai. Pada langkah ini, katup buang terbuka dan katup masuk tertutup.



Gambar 2.8 Langkah Buang

2.4. Sistem Permesinan *Diesel Engine*

Diesel Engine

PRINCIPAL PARTICULARS

01) Type	Vertical, single acting, 4-valves, 4-cycle, trunk piston type with turbo charger and charged air cooler.
02) Model	NIIGATA 6L28HX
03) Maximum continuous rating	1838 kW (2500 PS) at flywheel end (Hereinafter called as MCR)
04) Rated speed	750 min ⁻¹
05) Idling speed	400 min ⁻¹
06) Over load rating	110% MCR for 1 hour every 12 hours period.
07) Number of cylinder	6 (In-line)
08) Cylinder bore	280 mm
09) Piston stroke	370 mm
10) Max. combustion pressure	14.7 MPa or below
11) Brake mean effective pressure	2.151 MPa at MCR
12) Mean piston speed	9.25 m / s at MCR
13) Fuel supply system	Feed pump driven by engine
14) Fuel injection system	Solid direct injection
15) Lubricating system	Forced lubrication (Wet sump operation)
Recommended volume	Approx.600 liter / engine (Excluding oil in cooler/filter/piping)
16) Starting system	Compressed air starting 3.0 MPa (30 kg/cm ²)
17) Cooling system	
Piston	With lube. oil (system oil)
Turbo charger	Non cooling type
Charged air cooler	With sea water
Lube. oil cooler	With sea water
Fresh water cooler	With sea water
Fuel injection valve	Non cooling type
Cylinder jacket & head	With fresh water
18) Fuel oil	Marine diesel oil or Gas oil Corresponding to the following standards. ISO 8217, F-CMX and F-DMA ASTM D975, Grade No.1-D and Grade No.2-D
19) Lubricating oil	Corresponding to SAE # 40
20) Flywheel turning device	Ratchet gear with turning bar
21) Direction of rotation	(View from flywheel / output side of engine) Port engine Clockwise Starboard engine Clockwise
22) Dry mass	Approx. 16.0 tons / unit
23) Installation method	Rigid installation with chocktest
24) Inclination of installation	Max. 5 degrees (Down to bow side)

SPECIFIC FUEL OIL CONSUMPTION

When fuel oil corresponding to 42.7 MJ/kg, net calorific value is used, the specified consumption is less than 193 g/kW-hr.

- Subject to a tolerance of 3 % on the test operation.
- Subject to be burned with marine diesel oil.
- Engine load to be MCR and measured at crankshaft end (flywheel).
- Subject to driving one (1) lube. oil pump, two (2) water pumps and (1) fuel feed pump.
- At ISO conditions.
- Excluding leakage and treated losses, if any.

Gambar 2.9 Spesifikasi *Engine Diesel Fuel*

2.4.A Cara Kerja *Diesel Engine*

➤ Cara Kerja Mesin *Diesel* 2 Tak

Motor bakar dua langkah (2 tak) adalah mesin pembakaran dalam yang dalam satu siklus pembakaran akan mengalami dua langkah piston. Motor diesel dikategorikan menjadi dua yaitu motor bakar torak dan mesin pembakaran dalam (*internal combustion engine*). Penggunaan motor diesel bertujuan untuk mendapatkan tenaga mekanik dari energi panas yang ditimbulkan oleh energi kimiawi bahan bakar dan udara di dalam ruang bakar. Pada motor diesel ruang bakarnya bisa terdiri dari satu atau lebih tergantung pada tujuan perancangan. Selain itu, dalam satu silinder dapat terdiri dari satu atau dua torak. Tekanan gas hasil pembakaran akan mendorong torak yang di hubungkan dengan poros engkol menggunakan batang torak sehingga torak dapat bergerak bolak balik (*reciprocating*). Gerak bolak-balik torak akan diubah menjadi gerak rotasi oleh poros engkol. Sebaliknya, gerak rotasi poros engkol juga diubah menjadi gerak bolak-balik torak pada langkah kompresi.

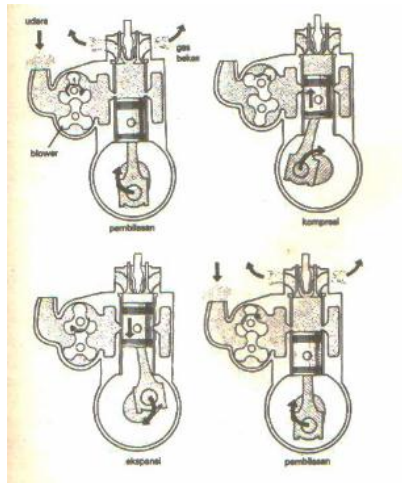
a. Langkah pembilasan dan kompresi

Pada awal langkah ini, udara masuk silinder melalui lubang masuk pembilasan (*port scavenging*) yang terdapat di bagian bawah silinder. Lubang ini akan terbuka saat torak bergerak ke bagian bawah mendekati titik mati bawah (TMB) dan akan tertutup saat torak bergerak ke atas meninggalkan TMB. Pada saat lubang pembilasan tertutup oleh torak yang bergerak ke atas menuju titik mati atas (TMA) dan katup buang juga tertutup maka dimulailah proses kompresi. Gerakan torak ke atas akan menyebabkan tekanan udara dalam silinder meningkat sehingga temperatur udaranya juga naik. Beberapa derajat sebelum torak mencapai TMA, bahan bakar akan disemprotkan (dikabutkan) dengan

injector ke dalam silinder karena temperatur udara sangat tinggi sehingga bahan bakar yang dikabutkan tersebut akan terbakar. Proses pembakaran ini akan menyebabkan kenaikan tekanan dan temperatur gas secara drastic. Kondisi maksimal akan terjadi beberapa saat setelah torak mulai bergerak ke bawah dan melalui batang torak akan memutar poros engkol.

b. Langkah ekspansi dan buang

Langkah ekspansi dan buang dimulai setelah terjadi tekanan maksimum di dalam silinder akibat terbakarnya campuran bahan bakar dengan udara. Setelah terjadi tekanan maksimum dalam silinder, piston akan terdorong menuju TMB dan katup buang mulai terbuka. Gas hasil pembakaran akan terdorong keluar akibat tekanan dalam silinder yang lebih besar daripada tekanan udara luar dan juga akibat terdesak oleh udara segar yang dimasukkan dengan paksa melalui lubang pembilasan dengan *blower* pembilas (*turbocharger*). Pada saat katup buang sudah tertutup, proses pemasukan udara segar masih berlangsung untuk beberapa saat dengan bantuan kompressor pembilas sampai lubang pembilasan tertutup total oleh torak. Hal ini dimaksudkan untuk meningkatkan kapasitas dan menaikkan tekanan udara pembilas dalam silinder. Kedua proses ini berlangsung terus menerus dan bergantian antara langkah pembilasan dan kompresi dengan langkah ekspansi dan buang sehingga hal ini disebut operasi dua langkah.



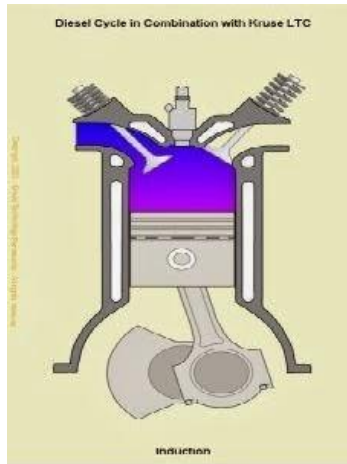
Gambar 2.10 Proses Kerja Diesel 2 Tak

➤ **Cara Kerja Mesin Diesel 4 Tak**

Motor bakar empat langkah adalah mesin pembakaran dalam yang dalam satu kali siklus pembakaran akan mengalami empat langkah piston. Ada beberapa macam ruang bakar yang ada pada motor diesel, diantaranya ada mesin diesel yang menggunakan ruang bakar utama ditambah ruang bakar tambahan, tetapi ada juga mesin diesel yang menggunakan ruang bakar utama saja atau disebut ruang bakar langsung (*direct injection*).

a. Langkah Hisap

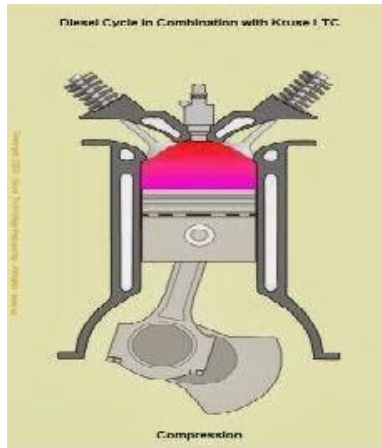
Selama langkah pertama, yakni langkah hisap, piston bergerak ke bawah (dari TMA ke TMB) sehingga membuat kevakuman di dalam silinder. Kevakuman ini membuat udara terhisap dan masuk ke dalam silinder. Pada saat ini katup hisap membuka dan katup buang menutup.



Gambar 2.11 Langkah Hisap

b. Langkah Kompresi

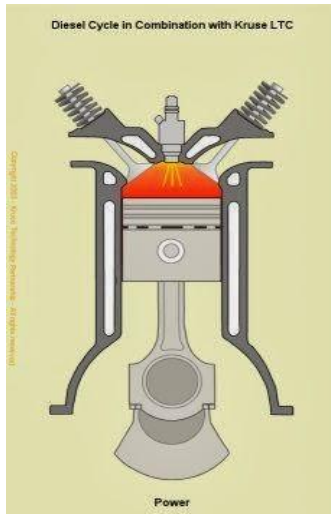
Langkah kedua disebut juga dengan langkah kompresi. Udara yang sudah masuk ke dalam silinder akan ditekan oleh piston yang bergerak ke atas (TMA). Perbandingan kompresi pada motor diesel berkisar diantara 14:1 sampai 24:1. Akibat proses kompresi ini adalah udara menjadi panas dan temperaturnya bisa mencapai sekitar 900 °C. Pada langkah ini kedua katup dalam posisi menutup semua.



Gambar 2.12 Langkah Kompresi

c. Langkah Pembakaran

Pada akhir langkah kompresi, *injector nozzle* menyemprotkan bahan bakar dengan tekanan tinggi dalam bentuk kabut ke dalam ruang bakar. Kemudian, akan terbakar bersama-sama dengan udara oleh panas yang dihasilkan pada langkah kompresi tadi. Diikuti oleh pembakaran tertunda, pada awal langkah usaha akhirnya pembentukan atom bahan bakar akan terbakar sebagai hasil pembakaran langsung dan membakar hampir seluruh bahan bakar. Hal ini mengakibatkan panas silinder meningkat dan tekanan silinder bertambah besar. Tenaga yang dihasilkan oleh pembakaran diteruskan ke piston. Piston terdorong ke bawah (TMA) dan tenaga pembakaran diubah menjadi tenaga mekanik. Pada saat ini kedua katup juga dalam posisi tertutup.



Gambar 2.13 Langkah Pembakaran

d. Langkah Buang

Pada langkah ini, piston akan bergerak naik ke TMA dan mendorong sisa gas buang keluar melalui katup buang yang sudah terbuka. Pada akhir langkah buang, udara segar masuk dan ikut mendorong sisa gas bekas keluar dan proses kerja selanjutnya akan dimulai. Pada langkah ini, katup buang terbuka dan katup masuk tertutup.



Gambar 2.14 Langkah Buang

2.5. Reduction Gear

Pada kapal *tug boat* yang menggunakan sistem permesinan, gas akan mengalami beberapa penambahan item seperti *gear box* karena adanya perbedaan RPM pada mesin diesel yang digunakan. *Reduction gear* yang digunakan adalah Rolls Royce AGSC-S/SC.



Gambar 2.15

Reduction Gear Rolls Royce AGSC-S/SC

2.6. Sistem Propulsi yang Dipakai

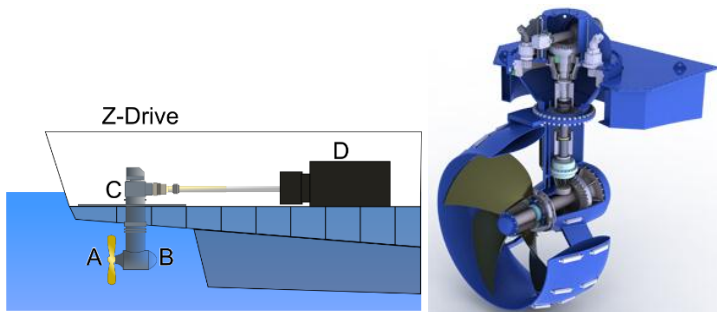
Azimuth podded propulsion system adalah sistem propulsi kapal dimana *propeller* serta *system shafting* terletak pada sebuah konstruksi pod yang menempel pada konstruksi lambung kapal. Konstruksi pod tersebut memiliki sebuah poros vertikal sehingga pod

tersebut dapat melakukan gerakan rotasi horisontal. Hal ini membuat *azimuth pod* memberikan kelebihan dalam hal *manuvering* pada saat kapal beroperasi.

Secara garis besar, sebuah *azimuth podded propulsion system* terdiri atas beberapa bagian utama, diantaranya:

- *Propeller* (baik yang menggunakan *nozzle* atau tanpa *nozzle*)
- *Electric motor module* (untuk elektrik *azimuth pod*)
- *Struth module* (berfungsi sebagai penguat utama yang dihubungkan langsung dengan konstruksi lambung)
- *Power transmission* dan *steering system* (mentransmisikan daya dari alternator ke elektrik motor, sedangkan steering sistem berfungsi untuk mengatur gerakan rotasi horisontal sistem tersebut).

Propeller digerakan oleh elektrik motor. Elektrik motor tersebut mendapatkan *supply* daya dari alternator yang digerakan oleh *main engine*. Sedangkan, gerakan rotasi horisontal dibantu oleh *steering motor* pada *steering system*. Salah satu kelebihan dari sistem propulsi ini adalah elektrik motor pada pod akan secara otomatis didinginkan oleh air disekitarnya sehingga tidak membutuhkan media atau pendingin tambahan. *Z drive azimuth podded propulsion system* dengan daya mekanik ditransmisikan oleh *gearbox* ataupun langsung dari *main engine*, seperti penjelasan sebelumnya dimana daya tersebut ditransmisikan langsung oleh *system shafting* yang menyerupai huruf “Z”. Sedangkan, sistem steeringnya sendiri menggunakan sistem hidrolik, sistem mekanik, atau sistem elektrik.



Gambar 2.16
Z Drive Propeller System

2.7. Overview Fungsi Kapal Tunda (*Tug Boat*)

Kapal tunda (*tugboat*) adalah kapal yang dapat digunakan untuk melakukan manuver/pergerakan, terutama untuk menarik atau mendorong kapal lainnya di pelabuhan, laut lepas, atau melalui sungai atau terusan. Kapal tunda digunakan pula untuk menarik tongkang, kapal yang telah rusak, dan juga peralatan lainnya. Kapal tunda memiliki tenaga yang besar bila dibandingkan dengan ukurannya. Kapal tunda pada zaman dulu menggunakan mesin uap, namun pada saat ini telah menggunakan mesin diesel. Mesin induk kapal tunda biasanya berkekuatan antara 750 sampai 3000 HP (500-2000 kW), tetapi kapal yang lebih besar (digunakan di laut lepas) dapat berkekuatan sampai 25.000 tenaga kuda (20.000 kW). Kebanyakan mesin yang digunakan sama dengan mesin kereta api, tetapi di kapal menggerakkan baling-baling. Untuk keselamatan, biasanya digunakan minimum dua buah mesin induk.

Kapal tunda memiliki kemampuan manuver yang tinggi, tergantung dari unit penggerakannya. Kapal tunda dengan penggerak konvensional memiliki baling-baling di belakang. Efisien untuk menarik kapal dari pelabuhan ke pelabuhan lainnya. Jenis penggerak lainnya sering disebut *schottel propulsion system* (*azimuth thruster/Z-peller*) di mana baling-baling di bawah kapal dapat bergerak 360° atau sistem propulsi Voith-Schneider yang

menggunakan semacam pisau di bawah kapal dapat membuat kapal berputar 360°. Jenis kapal tunda:

1. Kapal tunda konvensional / *Towing or Pusher Tug*
2. Kapal tunda serbaguna / *Utility Tug*
3. Kapal tunda pelabuhan / *Harbour Tug*



Gambar 2.17 Kapal Tunda

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian merupakan dasar agar proses penelitian berjalan secara sistematis, terstruktur dan terarah. Dalam rangka mencapai tujuan, penelitian ini menggunakan metodologi sebagai berikut.

3.1. Identifikasi dan Perumusan Masalah

Kegiatan yang dilakukan dalam pengidentifikasian masalah yang diangkat dalam penelitian ini adalah menghitung biaya dari dua kapal baru dengan dua sistem permesinan yang berbeda, yaitu sistem permesinan *gas engine* dan sistem permesinan *diesel engine*, serta aturan IMO mengenai pembatasan emisi dan berlakunya *emission control area* (ECA) pada tahun 2015.

3.2. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mempelajari tentang teori-teori dasar permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan pengetahuan dasar dan data dari penelitian-penelitian sebelumnya yang dapat digunakan sebagai acuan penelitian selanjutnya. Pada tahap ini, dilakukan studi terhadap referensi-referensi yang terdapat pada jurnal tugas akhir, internet, dan buku-buku materi penunjang. Selain itu, juga dilakukan pengumpulan berbagai macam referensi dari negara-negara lain untuk studi keekonomisan *gas engine*.

3.3. Pengumpulan Data

Setelah kita melakukan studi literatur dan mengumpulkan bahan pustaka, maka langkah selanjutnya adalah mengumpulkan semua data yang dibutuhkan seperti *general arrangement* dari kapal, harga kapal *tug boat* (asumsi

bangunan baru) biaya operasional kapal, dan biaya perawatan kapal baik itu *hull* maupun *machinery*.

3.4. Perhitungan Biaya

Pada tahap ini, desain gambar sistem pendukung telah selesai dikerjakan. Kemudian dapat diperoleh data dari gambar *general arrangement* dan gambar dari *engine room* untuk mengetahui *material outfitting* yang ditambahkan, serta besarnya biaya yang harus dikeluarkan dalam menghitung efisiensi sistem mesin yang berbeda ini.

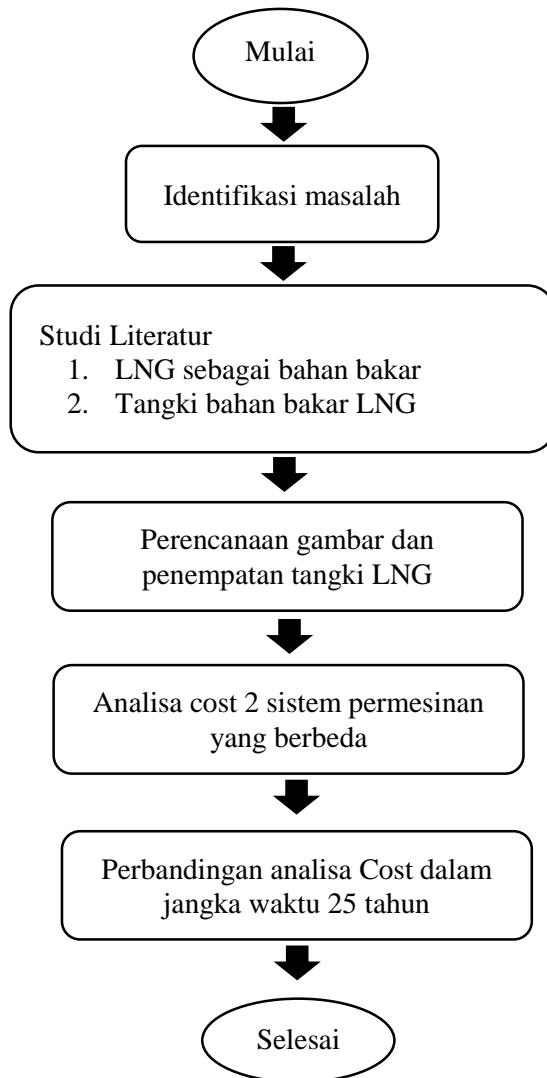
3.5. Analisa Investasi

Pada bagian ini, analisa investasi dilakukan untuk mengetahui biaya yang dibutuhkan untuk tiap sistem permesinan yang berbeda, yaitu *gas engine* dengan *diesel engine* dan juga untuk mengetahui biaya operasional yang dibutuhkan dari dua sistem permesinan tersebut. Hal lain yang dilakukan adalah melakukan prediksi kenaikan dari harga minyak bumi dan gas dunia. Selain itu, biaya perawatan dari *gas engine* juga dihitung dan dibandingkan dengan biaya perawatan kapal yang menggunakan bahan bakar diesel.

3.6. Kesimpulan

Setelah semua tahap dilakukan, tahap selanjutnya yang dilakukan adalah menarik kesimpulan dari analisa data yang didapatkan setelah verifikasi kajian ekonomi.

3.7. Flowchart Metodologi



“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

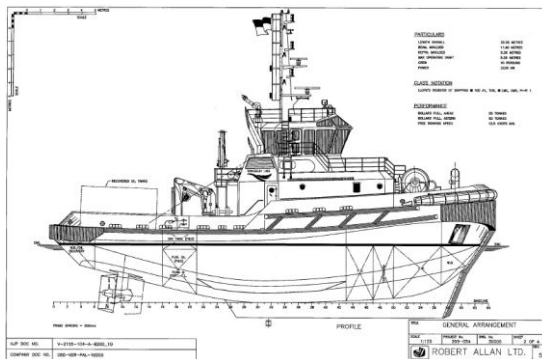
BAB IV ANALISA & PEMBAHASAN

4.1. Analisa & Perencanaan Teknis

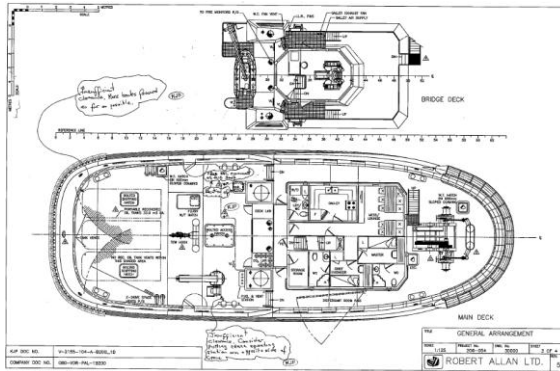
4.1.1.A Vessel Overview

Pada penelitian ini, kapal yang digunakan memiliki dimensi sebagai berikut:

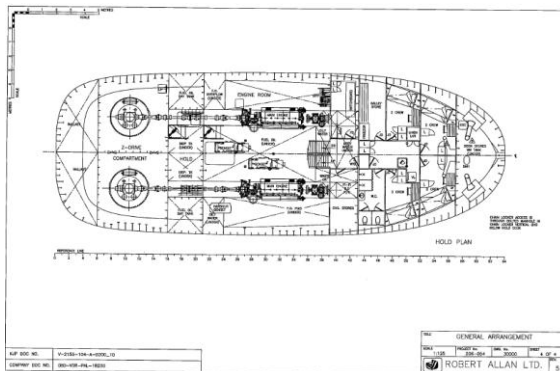
Loa	: 32 m
Beam	: 11,6 m
Depth	: 5,36 m
Max operating draft	: 5,29 m
Crew	: 10 orang
Power	: 3.236 KW
Kecepatan dinas	: 12 knots
Bollard pull (ahead)	: 100% MCR 55 tons
Bollard pull (astern)	: 100% MCR 50 tons
Endurance	: 2400 NM



Gambar 4.1 Tampak Samping *Tug Boat*



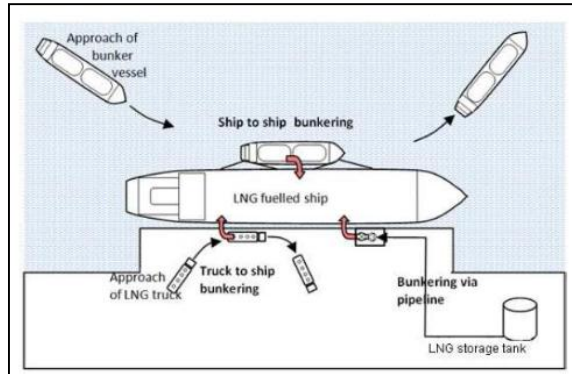
Gambar 4.2 Main Deck & Bridge Deck Tug Bat



Gambar 4.3 Engine Room Layout Tug Boat

4.1.1.B Bunkering Station

Pada penelitian ini, tangki LNG yang dipasang adalah tipe *fixed tank* dan menggunakan ISO tank sehingga *storage*-nya bisa diisi langsung dari *bunkering station* tempat kapal *tug boat* ini melayani kapal-kapal yang datang ke pelabuhan khusus LNG tersebut. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Bunkering LNG process (Gudrun, 2013)

Bunkering pada kapal *tug boat* ini hanya akan menggunakan 2 buah tangki dan menggunakan ISO tank dengan kapasitas 20 ft.

4.1.1.C Storage Tank

Storage tank berkaitan erat dengan kebutuhan bahan bakar. Penentuan tangki bahan bakar, baik minyak maupun gas tergantung dari *endurance* kapal tersebut. Semakin besar *endurance*, maka semakin besar pula kapasitas tangki yang dibutuhkan. Parameter dalam perhitungan kebutuhan bahan bakar adalah sebagai berikut :

➤ *Power Main Engine*

Semakin besar *main engine* dan jumlah *main engine*, maka semakin besar pula kapasitas tangki yang dibutuhkan. Pada penelitian ini, kapal menggunakan 2 *main engine*. Dengan *power* masing-masing 1838 kW untuk *diesel engine* dan 1940 untuk mesin *gas engine*.

➤ *Specific Fuel Oil Consumption (SFOC)*

Konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan oleh *main engine* untuk menghasilkan power per jam. SFOC tiap *main engine* akan berbeda-beda tergantung *power main engine* dan pabrikan dari *main engine* tersebut. SFOC dari *main engine* yang digunakan untuk mesin diesel adalah sebesar 193 gr/Kwh dan untuk mesin bahan bakar gas 7450 kJ/kWh.

➤ *Endurance*

Lama kapal beroperasi. Hal ini tergantung pada jarak pelayaran dan juga kecepatan kapal. Dalam penelitian ini, saya melakukan perhitungan lama pelayaran dan mendapatkan *endurance* pelayaran sekitar 8 jam per harinya.

Dari parameter diatas, kebutuhan bahan bakar dapat diperoleh dari hasil perkalian *power main engine* dikali dengan SFOC dikali dengan *endurance* kapal. Untuk perhitungan kebutuhan bahan bakar minyak langkah tersebut sudah cukup, akan tetapi untuk mengetahui kebutuhan bahan bakar gas kita harus melakukan perbandingan antara bahan bakar minyak dan bahan bakar gas dilihat dari LHV masing-masing jenis bahan bakar yang digunakan. Untuk LHV bahan bakar minyak akan berbeda-beda juga tergantung jenis bahan bakar yang digunakan. Oleh karena itu, LHV harus diketahui dari bahan bakar yang digunakan. Bahan bakar minyak yang digunakan pada kapal ini adalah HSD dengan LHV sebesar 42,2 mj/kg, sedangkan untuk HHV LNG adalah sebesar 22.5 mj/kg (wikipedia.com).

Berikut ini adalah formula untuk menghitung kebutuhan bahan bakar HSD.

$$WHSD = SFOC \times BHP \times t \text{ pelayaran} \times 10^{-6} \text{ (ton)} \dots\dots\dots(i)$$

Setelah kebutuhan bahan bakar *diesel engine* didapatkan dalam satuan ton, selanjutnya dilakukan perhitungan volume bahan bakar diesel tersebut.

$$V_{HSD} = W_{HSD} \times \rho_{HSD} \quad m^3$$

Setelah nilai besarnya kebutuhan bahan bakar HSD diperoleh, maka selanjutnya dilakukan perhitungan seperti dibawah ini untuk menghitung kebutuhan bahan bakar gas LNG.

$$V_{gas} = (SEC \times BHP \times (S/ V_{dinas}) \times 10^{-6}) / hhv \dots \dots \dots (ii)$$

Dari langkah perhitungan (i) dan (ii), maka diperoleh kebutuhan LNG dalam pelayaran 8 jam sebesar 15.40 m³

Dari aturan BKI, kapasitas tangki LNG tidak boleh diisi penuh (maksimal 98%). Oleh karena itu, saya menggunakan ISO tank untuk LNG sebesar 20 ft.



Gambar 4.5

Iso tank 20 ft (<http://www.lngglobal.com/>)

Tipe tangki seperti ini dapat diletakan di *deck* kapal maupun di bawah *deck*. Oleh karena penelitian ini menggunakan contoh kasus kapal baru, desain penempatan tangki LNG tidak terlalu mempengaruhi bagian di kapal. Jika dahulu untuk mengangkut

LNG sebagai bahan bakar di kapal membutuhkan ruang yang besar dan komponen pendukung yang banyak, maka sekarang akan lebih memudahkan *user* untuk menggunakannya.

4.1.1. D LNG Treatment

LNG berbentuk cair sehingga sebelum masuk ke *engine*, akan ada beberapa *treatment* yang perlu dilakukan sehingga LNG yang berbentuk cair tersebut dapat diproses hingga masuk ke *engine* (ruang bakar) dan berfungsi sebagai bahan bakar. Sebelum masuk ke *engine*, perlu dilakukan regasifikasi (LNG cair dijadikan gas). Hal ini dilakukan oleh GVU (*gas valve unit*). Setelah di GVU, proses regasifikasi dilakukan. Di GVU juga akan dilakukan penyesuaian tekanan gas untuk masuk ke *engine* (ruang bakar) sesuai spek dan kebutuhan *engine* itu sendiri.



Gambar 4.6 Iso Tank 20 ft & GVU

4.1.2 Sistem Safety

Sistem *safety* pada penggunaan LNG sebagai bahan bakar harus diperhatikan dengan baik dan benar karena jika terjadi kesalahan sedikit akan berakibat fatal. Berikut ini adalah sistem *safety* yang dibutuhkan dalam kapal yang beroperasi menggunakan sistem permesinan berbahan bakar gas.

4.1.2.A Gas Detection

Gas detection berfungsi untuk mendeteksi kebocoran gas yang terjadi, bisa sewaktu proses *bunkering* maupun saat proses *feeding* ke *main engine*. Pada BKI vol. 24 section 5 diatur untuk *gas detection* pada *tank room* (*storage tank* harus dipasang permanen, sedangkan pada *engine room* dipasang dua independen *gas detection*). Untuk *storage tank* LNG pac sudah terdapat *gas detector*, sedangkan untuk kamar mesin akan dipasang *gas detection* permanen dengan alarmnya dimana di setting pada batas LEL (Low Explosive Limit) sebesar 30% sesuai dengan standar BKI dan juga terdapat *gas detector portable* yang digunakan oleh kru kapal untuk cek harian sepanjang pipa LNG tersebut terpasang.

4.1.2.B Fire Safety

Untuk mengantisipasi adanya kebakaran di kapal, *fire safety* yang dipasang bisa berupa *fixed* maupun *portable*. Untuk *fixed* bisa berupa *fire sprinkler* maupun berupa *hydrant*, sedangkan untuk *portable* bisa berupa *dry chemical powder*. BKI vol 24 section 3 mengatur mengenai *insulation* pada *bulkhead* yang terkait dengan lokasi bahan bakar gas, untuk *bulk head* di *insulation* dengan tipe class A-60.

4.1.3. Stabilitas Kapal

Stabilitas adalah keseimbangan dari kapal. Stabilitas merupakan sifat atau kecenderungan dari sebuah kapal untuk kembali kepada kedudukan semula setelah mendapat senget (kemiringan) yang disebabkan oleh gaya-gaya dari luar (Rubianto, 1996). Serupa dengan pendapat Wakidjo (1972), stabilitas merupakan kemampuan sebuah kapal untuk menegak kembali sewaktu kapal menyenget oleh karena kapal mendapatkan pengaruh luar, misalnya angin, ombak dan sebagainya. Secara umum, hal-hal yang mempengaruhi keseimbangan kapal dapat dikelompokkan menjadi dua kelompok besar yaitu:

- Faktor internal yaitu tata letak barang/cargo, bentuk ukuran kapal, kebocoran karena kandas atau tubrukan
- Faktor eksternal yaitu berupa angin, ombak, arus dan badai

Oleh karena itu, stabilitas erat hubungannya dengan bentuk kapal, muatan, draft, dan ukuran dari nilai GM. Posisi M (Metasentrum) hampir tetap sesuai dengan style kapal, pusat *buoyancy* B (Bouyancy) digerakkan oleh *draft* sedangkan pusat gravitasi bervariasi posisinya tergantung pada muatan. Sedangkan titik M (Metasentrum) adalah tergantung dari bentuk kapal. Hubungannya dengan bentuk kapal yaitu lebar dan tinggi kapal. Bila lebar kapal melebar, maka posisi M (Metasentrum) bertambah tinggi dan akan menambah pengaruh terhadap stabilitas.

Kaitannya dengan bentuk dan ukuran, dalam menghitung stabilitas kapal sangat tergantung dari beberapa ukuran pokok yang berkaitan dengan dimensi pokok kapal. Ukuran-ukuran pokok yang menjadi dasar dari pengukuran kapal adalah panjang (*length*), lebar (*breadth*), tinggi (*depth*) serta sarat (*draft*). Sedangkan panjang di dalam pengukuran kapal dikenal beberapa istilah seperti LOA (*Length Over All*), LBP (*Length Between Perpendicular*) dan LWL (*Length Water Line*). Beberapa hal yang perlu diketahui sebelum melakukan perhitungan stabilitas kapal yaitu:

- Berat benaman (isi kotor) atau displasemen adalah jumlah ton air yang dipindahkan oleh bagian kapal yang tenggelam dalam air.
- Berat kapal kosong (*Light Displacement*) yaitu berat kapal kosong termasuk mesin dan alat-alat yang melekat pada kapal. atau barang yang tidak bisa di pindahkan dari kapal
- *Operating Load* (OL) yaitu berat dari sarana dan alat-alat untuk mengoperasikan kapal dimana tanpa alat ini kapal tidak dapat berlayar.

$\text{Displ} = \text{LD} + \text{OL} + \text{Muatan}$

$\text{DWT} = \text{OL} + \text{Muatan}$

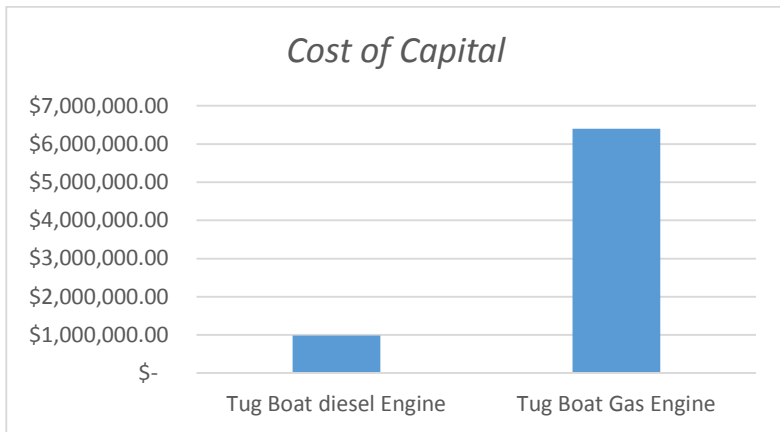
4.2 Analisa Ekonomi

Sesuai dengan tujuan studi keekonomisan *gas engine* pada kapal *tug boat* selain tinjauan teknis, juga perlu ditinjau dari segi ekonomi. Profit merupakan daya tarik utama untuk setiap pengusaha. Dalam hal ini, dari segi teknis perbedaan sistem permesinan yang digunakan sangat memungkinkan untuk dilakukan. Akan tetapi, jika ditinjau dari segi ekonomi perlu di analisa. Pada bab ini akan menghitung dan membahas analisa ekonomi untuk beberapa perubahan yang terjadi pada kapal *tug boat* dengan mesin berbahan bakar *gas* (LNG) tersebut jika dibandingkan dengan mesin bahan bakar *diesel*.

4.2.1 Capital Cost

Biaya modal (*Cost of Capital*) adalah biaya riil yang harus dikeluarkan oleh perusahaan utk memperoleh dana baik yang berasal dari hutang, saham preferen, saham biasa, dan laba ditahan untuk mendanai suatu investasi atau operasi perusahaan. Penentuan besarnya biaya modal ini dimaksudkan untuk mengetahui berapa besarnya biaya riil yang harus dikeluarkan perusahaan untuk memperoleh dana yang diperlukan.

- Pada penelitian ini, akan ditentukan biaya modal pada harga mesin dan peralatan lain. Dari berbagai referensi yang saya dapat, harga mesin konvensional kapal yang menggunakan sistem permesinan diesel bernilai US\$ 200/Horse Power karena kapal existing menggunakan mesin 2463 HP sehingga biaya yang di butuhkan adalah sekitar \$ 985.168
- Untuk kapal dengan penggunaan sistem permesinan *gas engine*, harga mesin dari referensi yang saya dapat adalah sekitar \$ 750/Horse Power sehingga untuk pengeluaran biaya mesin dibutuhkan biaya sebesar \$ 3.899.400 dan untuk *gearbox* beserta LNG pack nya sekitar \$ 2.500.600 sehingga biaya total yang di butuhkan untuk sistem permesinan ini adalah \$ 6.400.000



Gambar 4.7 Cost of Capital

4.2.2 Outcome Expenditure

Outcome expenditure adalah pengeluaran yang dilakukan oleh owner kapal, *outcome expenditure* sendiri banyak komponen-komponen nya seperti *maintenance cost*, gaji ABK, asuransi, logistik kru selama berlayar, biaya bahan bakar, biaya minyak pelumas, dan biaya manajemen (M. Yamin Jinca, Transportasi Laut Indonesia, 2011). Berikut ini adalah rincian perhitungan *outcome expenditure*. Dalam penelitian ini, saya hanya memasukkan *maintenance cost*, biaya bahan bakar, dan biaya minyak pelumas dalam perhitungan.

I. Biaya Bahan Bakar

Biaya bahan bakar dihitung berdasarkan jumlah trip pelayaran kapal yang datang ke pelabuhan khusus tersebut dalam satu tahun sehingga jumlah biaya bahan bakar akan berbeda dari tahun ke tahun tergantung jumlah trip kapal yang datang dan juga kenaikan harga minyak dunia. Yang pertama adalah menghitung besarnya kebutuhan bahan bakar minyak di

kapal selama setahun. Minyak yang akan digunakan di kapal ini adalah HSD. Gambar 4.11 adalah grafik perubahan harga HSD dari tahun 2011-2015.



Gambar 4.8 Fluktuasi Harga HSD
(www.bunkeringindex.com, 20 Maret 2016)

Dari gambar 4.8 terlihat bahwa harga minyak sangat tidak stabil. Pemilik kapal tidak akan pernah mengetahui kapan harga minyak akan turun dan naik. Hasil statistik harga HSD dari tahun 2011-2015 mengalami penurunan rata-rata sebesar 2%. Namun, pada penelitian ini akan menggunakan kenaikan harga HSD konstan per tahunnya yaitu sebesar 3% (setara dengan kenaikan harga LNG). Biaya bahan bakar dihitung berdasarkan jarak pelayaran dan lama perjalanan seperti pada perhitungan kapasitas tangki LNG *storage*. Tabel 4.1 adalah hasil perhitungan besarnya biaya bahan bakar dari tahun ke-1 sampai tahun ke-25 untuk HSD.

Tabel 4.1 Biaya Bahan Bakar Mesin Diesel

Tahun Ke	Kenaikan 3% HSD
1	\$ 1,468,117.06
2	\$ 1,512,160.57

3	\$ 1,557,525.39
4	\$ 1,604,251.15
5	\$ 1,652,378.68
6	\$ 1,701,950.04
7	\$ 1,753,008.54
8	\$ 1,805,598.80
9	\$ 1,859,766.76
10	\$ 1,915,559.77
11	\$ 1,973,026.56
12	\$ 2,032,217.36
13	\$ 2,093,183.88
14	\$ 2,155,979.39
15	\$ 2,220,658.78
16	\$ 2,287,278.54
17	\$ 2,355,896.89
18	\$ 2,426,573.80
19	\$ 2,499,371.02
20	\$ 2,574,352.15
21	\$ 2,651,582.71
22	\$ 2,731,130.19
23	\$ 2,813,064.10
24	\$ 2,897,456.02
25	\$ 2,984,379.70

Harga HSD pada Tabel 4.1 adalah harga dalam kurs US\$.

Cara menghitung besarnya biaya bahan bakar adalah sebagai berikut:

Kebutuhan Bahan bakar minyak perhari adalah = 7,61 ton

Harga 1 ton HSD = \$ 536 / MT

Dan untuk kebutuhan HSD perhari adalah

$7,61 \text{ ton} \times \$ 536 = \$ 4.078$

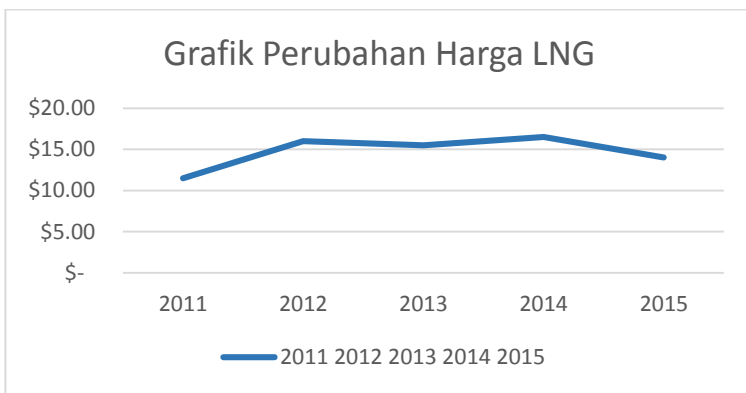
Sehingga cost HSD dalam sehari adalah \$ 4.078

Harga per ton = \$ 536 (www.shipandbunker.com)

Sehingga biaya bahan bakar dalam setahun adalah

$$= \$ 4.078 \times 360 = \$ 1.468.117,06$$

Sedangkan untuk biaya bahan bakar dengan menggunakan gas, kenaikan harga LNG dari tahun 2011 sampai dengan tahun 2015 seperti Gambar 4.9:



Gambar 4.9 Fluktuasi Harga LNG
(<https://ycharts.com/dashboard/> 4 April 2015)

Dari gambar 4.9 diperoleh statistik kenaikan rata-rata harga LNG sebesar 2%. Untuk penelitian ini diambil besarnya nilai kenaikan konstan setiap tahun adalah naik 3 %.

Dalam perhitungan, ini saya akan menambahkan variasi perhitungan biaya bahan bakar LNG mulai dari harga \$3 sampai ke harga \$8.

Harga LNG pada Tabel 4.4 adalah harga US\$ per MMBTU.

Cara menghitung besarnya biaya bahan bakar adalah sebagai berikut:

Kebutuhan Bahan Bakar Minyak perhari adalah = 15.40 m^3

1 m³ = 22.56 MMBTU sehingga kebutuhan LNG per hari adalah 347,6 MMBTU dan untuk kebutuhan setahun sebanyak 126,526MMBTU

Harga 1 MMBTU LNG = \$ 3

Sehingga cost LNG dalam sehari adalah \$ 1.042

Sehingga biaya bahan bakar dalam setahun adalah =

\$ 1.042 x 360 = \$ 379.578,65

Tabel 4.2 Biaya Bahan Bakar *Gas Engine* harga \$3 & \$4

Tahun Ke	Kenaikan 3% LNG (\$3)	Kenaikan 3% LNG (\$4)
1	\$ 379,578.65	\$ 506,104.87
2	\$ 390,966.01	\$ 521,288.02
3	\$ 402,694.99	\$ 536,926.66
4	\$ 414,775.84	\$ 553,034.46
5	\$ 427,219.12	\$ 569,625.49
6	\$ 440,035.69	\$ 586,714.26
7	\$ 453,236.76	\$ 604,315.68
8	\$ 466,833.87	\$ 622,445.16

9	\$ 480,838.88		\$ 641,118.51
10	\$ 495,264.05		\$ 660,352.07
11	\$ 510,121.97		\$ 680,162.63
12	\$ 525,425.63		\$ 700,567.51
13	\$ 541,188.40		\$ 721,584.53
14	\$ 557,424.05		\$ 743,232.07
15	\$ 574,146.77		\$ 765,529.03
16	\$ 591,371.17		\$ 788,494.90
17	\$ 609,112.31		\$ 812,149.75
18	\$ 627,385.68		\$ 836,514.24
19	\$ 646,207.25		\$ 861,609.67
20	\$ 665,593.47		\$ 887,457.96
21	\$ 685,561.27		\$ 914,081.70
22	\$ 706,128.11		\$ 941,504.15
23	\$ 727,311.95		\$ 969,749.27
24	\$ 749,131.31		\$ 998,841.75
25	\$ 771,605.25		\$ 1,028,807.00

Tabel 4.3 Biaya Bahan Bakar *Gas Engine* \$5 & \$6

Tahun Ke	Kenaikan 3% LNG (\$5)		Kenaikan 3% LNG (\$6)
1	\$ 632,631.09		\$ 759,157.31
2	\$ 651,610.02		\$ 781,932.03
3	\$ 671,158.32		\$ 805,389.99
4	\$ 691,293.07		\$ 829,551.69
5	\$ 712,031.87		\$ 854,438.24
6	\$ 733,392.82		\$ 880,071.39
7	\$ 755,394.61		\$ 906,473.53

8	\$ 778,056.44	\$ 933,667.73
9	\$ 801,398.14	\$ 961,677.76
10	\$ 825,440.08	\$ 990,528.10
11	\$ 850,203.28	\$ 1,020,243.94
12	\$ 875,709.38	\$ 1,050,851.26
13	\$ 901,980.66	\$ 1,082,376.80
14	\$ 929,040.08	\$ 1,114,848.10
15	\$ 956,911.29	\$ 1,148,293.54
16	\$ 985,618.62	\$ 1,182,742.35
17	\$ 1,015,187.18	\$ 1,218,224.62
18	\$ 1,045,642.80	\$ 1,254,771.36
19	\$ 1,077,012.08	\$ 1,292,414.50
20	\$ 1,109,322.45	\$ 1,331,186.93
21	\$ 1,142,602.12	\$ 1,371,122.54
22	\$ 1,176,880.18	\$ 1,412,256.22
23	\$ 1,212,186.59	\$ 1,454,623.91
24	\$ 1,248,552.19	\$ 1,498,262.62
25	\$ 1,286,008.75	\$ 1,543,210.50

Tabel 4.4 Biaya Bahan Bakar Gas Engine \$7 & \$8

Tahun Ke	Kenaikan 3% LNG (\$7)	Kenaikan 3% LNG (\$8)
1	\$ 885,683.53	\$ 1,001,086.56
2	\$ 912,254.03	\$ 1,031,119.16
3	\$ 939,621.65	\$ 1,062,052.73
4	\$ 967,810.30	\$ 1,093,914.31
5	\$ 996,844.61	\$ 1,126,731.74
6	\$ 1,026,749.95	\$ 1,160,533.70
7	\$ 1,057,552.45	\$ 1,195,349.71

8	\$ 1,089,279.02	\$ 1,231,210.20
9	\$ 1,121,957.39	\$ 1,268,146.50
10	\$ 1,155,616.11	\$ 1,306,190.90
11	\$ 1,190,284.60	\$ 1,345,376.63
12	\$ 1,225,993.14	\$ 1,385,737.92
13	\$ 1,262,772.93	\$ 1,427,310.06
14	\$ 1,300,656.12	\$ 1,470,129.36
15	\$ 1,339,675.80	\$ 1,514,233.24
16	\$ 1,379,866.07	\$ 1,559,660.24
17	\$ 1,421,262.06	\$ 1,606,450.05
18	\$ 1,463,899.92	\$ 1,654,643.55
19	\$ 1,507,816.92	\$ 1,704,282.86
20	\$ 1,553,051.42	\$ 1,755,411.34
21	\$ 1,599,642.97	\$ 1,808,073.68
22	\$ 1,647,632.26	\$ 1,862,315.89
23	\$ 1,697,061.22	\$ 1,918,185.37
24	\$ 1,747,973.06	\$ 1,975,730.93
25	\$ 1,800,412.25	\$ 2,035,002.86

II. Pelumas di Kapal

➤ Pelumas *Diesel Engine*

Komponen lain untuk *outcome expenditure* adalah biaya pelumas di kapal. Menurut spesifikasi *diesel engine* yang terpakai menunjukkan SLOC 0.4g/kwh. Dengan *diesel engine* 1838 kw, maka kebutuhan *oil lubricating* nya adalah:

$$\text{SLOC} \times \text{BHP} \times t \times 10^{-3}$$

$0.4 \times 1838 \times 24 \times 10^{-3} = 17,65 \text{ kg}$ untuk kebutuhan perharinya, sedangkan untuk kebutuhan pertahunnya adalah:

17,65 kg x 7 x 52= 6.422,7 kg atau sama dengan 6,4227 ton sehingga untuk kebutuhan 2 *main engine* maka dikalikan 2.

Berikut adalah tabel kebutuhan *oil lubricating* selama 25 tahun untuk *diesel engine*.

Tabel 4.5 Biaya Pelumas *Diesel Engine*

Tahun Ke	Harga Pelumas (kenaikan 3%)	Tahun Ke	Harga Pelumas (kenaikan 3%)
1	\$ 51,381.66	10	\$ 67,041.41
2	\$ 52,923.11	11	\$ 69,052.65
3	\$ 54,510.80	12	\$ 71,124.23
4	\$ 56,146.12	13	\$ 73,257.96
5	\$ 57,830.51	14	\$ 75,455.70
6	\$ 59,565.42	15	\$ 77,719.37
7	\$ 61,352.39	16	\$ 80,050.95
8	\$ 63,192.96	17	\$ 82,452.48
9	\$ 65,088.75	18	\$ 84,926.05
Tahun Ke	Harga Pelumas (kenaikan 3%)	Tahun Ke	Harga Pelumas (kenaikan 3%)
19	\$ 87,473.83	23	\$ 98,452.57
20	\$ 90,098.05	24	\$ 101,406.15
21	\$ 92,800.99	25	\$ 104,448.33
22	\$ 95,585.02		

- Menurut spesifikasi *gas engine* yang terpakai menunjukkan SLOC 0.4g/kwh, dengan power 1940 kw, maka kebutuhan *oil lubricating* adalah:

$$\text{SLOC} \times \text{BHP} \times t \times 10^{-3}$$

$0.4 \times 1940 \times 24 \times 10^{-3} = 18,62 \text{ kg}$ untuk kebutuhan perharinya, sedangkan untuk kebutuhan pertahunnya adalah:

$18,62 \text{ kg} \times 7 \times 52 = 6.778 \text{ kg}$ atau sama dengan 6,778 ton sehingga untuk kebutuhan 2 *main engine* maka dikalikan 2.

Berikut adalah tabel kebutuhan *oil lubricating* selama 25 tahun untuk *diesel engine*.

Tabel 4.6 Biaya Pelumas *Gas Engine*

Tahun Ke	Harga Pelumas (kenaikan 3%)	Tahun Ke	Harga Pelumas (kenaikan 3%)
1	\$ 54,233.09	6	\$ 62,871.01
2	\$ 55,860.08	7	\$ 64,757.14
3	\$ 57,535.88	8	\$ 66,699.86
4	\$ 59,261.96	9	\$ 68,700.85
5	\$ 61,039.82	10	\$ 70,761.88
Tahun Ke	Harga Pelumas (kenaikan 3%)	Tahun Ke	Harga Pelumas (kenaikan 3%)
11	\$ 72,884.74	19	\$ 92,328.20
12	\$ 75,071.28	20	\$ 95,098.05
13	\$ 77,323.42	21	\$ 97,950.99
14	\$ 79,643.12	22	\$ 100,889.52
15	\$ 82,032.41	23	\$ 103,916.20

16	\$ 84,493.38	24	\$ 107,033.69
17	\$ 87,028.19	25	\$ 110,244.70
18	\$ 89,639.03		

III. Biaya Perawatan

Menurut Watson (1998), biaya perawatan untuk kapal dibagi menjadi dua bagian yaitu *hull* (konstruksi, lambung, plat) dan *machinery* (perawatan *main engine*, mesin bantu, pompa, elektrik, dll). Cara menghitung besarnya nilai perawatan yang dibutuhkan untuk perawatan *hull* adalah sebagai berikut.

$$\text{Hull maintenance and repair} = \$ 10.000 \times (\text{CN}/100)^{2/3}$$

Dimana CN (*Cubic Number*) adalah $\text{Lwl} \cdot \text{Beam} \cdot \text{Depth}$

$$\text{Lwl} = 32 \text{ m}$$

$$\text{Beam (lebar kapal)} = 11,6 \text{ m}$$

$$\text{Depth (tinggi kapal)} = 5,36 \text{ m}$$

$$\text{CN} = 32 \times 11,6 \times 5,36$$

$$\text{CN} = 1.989,7$$

$$\text{Hull maintenance and repair} = 10.000 \times (1.989,7/100)^{2/3}$$

$$\text{Hull maintenance and repair} = \$ 131,964$$

Sedangkan untuk *machinery maintenance and repair* adalah sebagai berikut:

$$\text{Machinery maintenance and repair} = \$ 10.000 \times (\text{SHP}/100)^{2/3}$$

SHP (*Shaft Horse Power*) adalah = BHP scr, dimana BHP mcr adalah BHP scr dibagi 0,85. BHP mcr = 1.838 Kw atau 2465 HP.

$$\text{SHP} = \text{BHP mcr} \times 0,85$$

$$\text{SHP} = 2.465 \times 0,85$$

$$\text{SHP} = 2095,3 \text{ HP}$$

$$\text{SHP 2 main engine} = 4190,6 \text{ HP}$$

Karena menggunakan dua *main engine*, maka SHP dikalikan 2.

$$\text{Machinery maintenance and repair} = \$ 10.000 \times (4190,6 / 100)^{2/3}$$

$$\text{Machinery maintenance and repair} = \$ 585,370$$

$$\text{Total maintenance repair} = \text{Hull maintenance and repair} + \text{machinery maintenance and repair}$$

$$\text{Total maintenance repair} = \$ 131,964 + \$ 585,370$$

$$\text{Total maintenance repair} = \$ 717,334$$

Kenaikan biaya *total maintenance and repair* adalah 3% tiap tahun, diasumsikan sama dengan kenaikan biaya bahan bakar. Berikut pada Tabel 4.7 adalah biaya *maintenance and repair* dari tahun ke-1 sampai tahun ke-25.

Tabel 4.7 Total Maintenance Cost Diesel Engine (Asumsi kenaikan 3% per tahun)

Tahun Ke	<i>Total Maintenance Cost</i>
1	\$ 717,334.48
2	\$ 738,854.52
3	\$ 761,020.15

4	\$ 783,850.76
5	\$ 807,366.28
6	\$ 831,587.27
7	\$ 856,534.89
8	\$ 882,230.93
9	\$ 908,697.86
10	\$ 935,958.80
11	\$ 964,037.56
12	\$ 992,958.69
13	\$ 1,022,747.45
14	\$ 1,053,429.87
15	\$ 1,085,032.77
16	\$ 1,117,583.75
17	\$ 1,151,111.26
18	\$ 1,185,644.60
19	\$ 1,221,213.94
20	\$ 1,257,850.36
21	\$ 1,295,585.87
22	\$ 1,334,453.44
23	\$ 1,374,487.05
24	\$ 1,415,721.66
25	\$ 1,458,193.31

Sedangkan, untuk biaya *total maintenance cost* pada gas engine dari beberapa referensi seperti Daniel Delgado (2012); Gudrun Jona (2013) adalah lebih besar 20-25% dari *total maintenance cost* pada bahan bakar diesel. Pada penelitian ini diambil besarnya biaya *total maintenance cost gas engine* adalah lebih besar 25% dari *total maintenance cost* bahan bakar minyak.

Gas engine total maintenance cost = *total maintenance cost diesel engine* + (*total maintenance cost diesel engine* x 25%)

$$\text{Gas engine total maintenance cost} = 131,964 + (585,370 \times 25\%) + 585,370$$

$$\text{Gas engine total maintenance cost} = \$ 863.677,2$$

Kenaikan biaya *total maintenance* untuk kapal menggunakan *gas engine* adalah sebesar 3% tiap tahunnya. Berikut pada Tabel 4.8 adalah hasil perhitungan *total maintenance cost gas engine* dari tahun ke-1 sampai tahun ke-25 :

Tabel 4.8 Total Maintenance Cost Gas Engine

Tahun Ke	Harga Pelumas (kenaikan 3%)	Tahun Ke	Harga Pelumas (kenaikan 3%)
1	\$ 863,677.22	9	\$ 1,094,080.46
2	\$ 889,587.53	10	\$ 1,126,902.87
3	\$ 916,275.16	11	\$ 1,160,709.96
4	\$ 943,763.42	12	\$ 1,195,531.26
5	\$ 972,076.32	13	\$ 1,231,397.20
6	\$ 1,001,238.61	14	\$ 1,268,339.11
7	\$ 1,031,275.77	15	\$ 1,306,389.29
8	\$ 1,062,214.04	16	\$ 1,345,580.96
Tahun Ke	Harga Pelumas (kenaikan 3%)	Tahun Ke	Harga Pelumas (kenaikan 3%)
17	\$ 1,385,948.39	22	\$ 1,606,694.04
18	\$ 1,427,526.84	23	\$ 1,654,894.86
19	\$ 1,470,352.65	24	\$ 1,704,541.71
20	\$ 1,514,463.23	25	\$ 1,755,677.96

21	\$ 1,559,897.13
----	-----------------

Dari hasil perhitungan masing-masing komponen *outcome expenditure* maka diperoleh *resume* untuk total biaya operasional seperti pada Tabel 4.8. Untuk operasional, kapal menggunakan *single fuel*, sedangkan untuk biaya operasional, kapal menggunakan *gas engine* dapat dilihat pada lampiran Tabel 4.9

Tabel 4.9 Total Biaya Operasional Diesel Engine (Asumsi Kenaikan HSD 3% per Tahun)

Tahun Ke	Maintenae (\$)	Fuel (\$)	LO (\$)	Total Cost (\$)
1	717,34.48	1,468,117.06	51,381.66	1,519,499.71
2	738,854.52	1,512,160.57	52,923.11	1,565,085.68
3	761,020.15	1,557,525.39	54,510.80	1,612,039.19
4	783,850.76	1,604,251.15	56,146.12	1,660,401.27
5	807,366.28	1,652,378.68	57,830.51	1,710,214.19
6	831,587.27	1,701,950.04	59,565.42	1,761,521.47
7	856,534.89	1,753,008.54	61,352.39	1,814,367.93
8	882,230.93	1,805,598.80	63,192.96	1,868,799.76
9	908,697.86	1,859,766.76	65,088.75	1,924,864.51
Tahun Ke	Maintenae (\$)	Fuel (\$)	LO (\$)	Total Cost (\$)
10	935,958.80	1,915,559.77	67,041.41	1,982,611.18
11	964,037.56	1,973,026.56	69,052.65	2,042,090.21
12	992,958.69	2,032,217.36	71,124.23	2,103,353.59
13	1,022,747.45	2,093,183.88	73,257.96	2,166,454.83

14	1,053,429.87	2,155,979.39	75,455.70	2,231,449.09
15	1,085,032.77	2,220,658.78	77,719.37	2,298,393.14
16	1,117,583.75	2,287,278.54	80,050.95	2,367,345.49
17	1,151,111.26	2,355,896.89	82,452.48	2,438,366.37
18	1,185,644.60	2,426,573.80	84,926.05	2,511,517.85
19	1,221,213.94	2,499,371.02	87,473.83	2,586,863.85
20	1,257,850.36	2,574,352.15	90,098.05	2,664,470.19
21	1,295,585.87	2,651,582.71	92,800.99	2,744,404.70
22	1,334,453.44	2,731,130.19	95,585.02	2,826,737.21
23	1,374,487.05	2,813,064.10	98,452.57	2,911,539.67
24	1,415,721.66	2,897,456.02	101,406.15	2,998,886.17
25	1,458,193.31	2,984,379.70	104,448.33	3,088,853.03

Tabel 4.10 Total Biaya Operasional *Gas Engine* (LNG \$3)

Tahun Ke	Maintenance (\$)	Fuel (\$)	LO (\$)	Total Cost (\$)
1	863,677.22	379,578.65	54,233.09	1,297,488.96
2	889,587.53	390,966.01	55,860.08	1,336,413.63
3	916,275.16	402,694.99	57,535.88	1,376,506.04

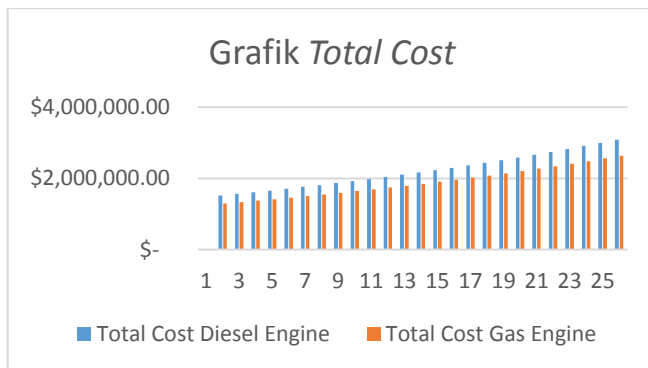
4	943,763.42	414,775.84	59,261.96	1,417,801.22
5	972,076.32	427,219.12	61,039.82	1,460,335.26
6	1,001,238.61	440,035.69	62,871.01	1,504,145.31
7	1,031,275.77	453,236.76	64,757.14	1,549,269.67
8	1,062,214.04	466,833.87	66,699.86	1,595,747.76
9	1,094,080.46	480,838.88	68,700.85	1,643,620.20
10	1,126,902.87	495,264.05	70,761.88	1,692,928.80
11	1,160,709.96	510,121.97	72,884.74	1,743,716.67
12	1,195,531.26	525,425.63	75,071.28	1,796,028.17
13	1,231,397.20	541,188.40	77,323.42	1,849,909.01
14	1,268,339.11	557,424.05	79,643.12	1,905,406.28
15	1,306,389.29	574,146.77	82,032.41	1,962,568.47
16	1,345,580.96	591,371.17	84,493.38	2,021,445.52
17	1,385,948.39	609,112.31	87,028.19	2,082,088.89
18	1,427,526.84	627,385.68	89,639.03	2,144,551.56
19	1,470,352.65	646,207.25	92,328.20	2,208,888.10
20	1,514,463.23	665,593.47	95,098.05	2,275,154.75
21	1,559,897.13	685,561.27	97,950.99	2,343,409.39
22	1,606,694.04	706,128.11	100,889.52	2,413,711.67
Tahun Ke	Maintenance (\$)	Fuel (\$)	LO (\$)	Total Cost (\$)
23	1,654,894.86	727,311.95	103,916.20	2,486,123.02
24	1,704,541.71	749,131.31	107,033.69	2,560,706.71
25	1,755,677.96	771,605.25	110,244.70	2,637,527.91

Dari tabel tersebut, kita akan memperoleh selisih dari 2 sistem permesinan yang terpakai pada kapal seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.11

Tabel 4.11 Total Selisih Operasional Gas Engine (LNG \$3) dengan Diesel Engine

Tahun Ke	Total Cost Diesel Engine (\$)	Total Cost Gas Engine (\$)	Selisih Total Cost (\$)
1	1,519,499.71	1,297,488.96	222,010.75
2	1,565,085.68	1,336,413.63	228,672.05
3	1,612,039.19	1,376,506.04	235,533.15
4	1,660,401.27	1,417,801.22	242,600.05
5	1,710,214.19	1,460,335.26	249,878.93
6	1,761,521.47	1,504,145.31	257,376.15
7	1,814,367.93	1,549,269.67	265,098.26
8	1,868,799.76	1,595,747.76	273,052.00
9	1,924,864.51	1,643,620.20	281,244.31
10	1,982,611.18	1,692,928.80	289,682.37
11	2,042,090.21	1,743,716.67	298,373.55
12	2,103,353.59	1,796,028.17	307,325.42
Tahun Ke	Total Cost Diesel Engine (\$)	Total Cost Gas Engine (\$)	Selisih Total Cost (\$)
13	2,166,454.83	1,849,909.01	316,545.82
14	2,231,449.09	1,905,406.28	326,042.81
15	2,298,393.14	1,962,568.47	335,824.67
16	2,367,345.49	2,021,445.52	345,899.96

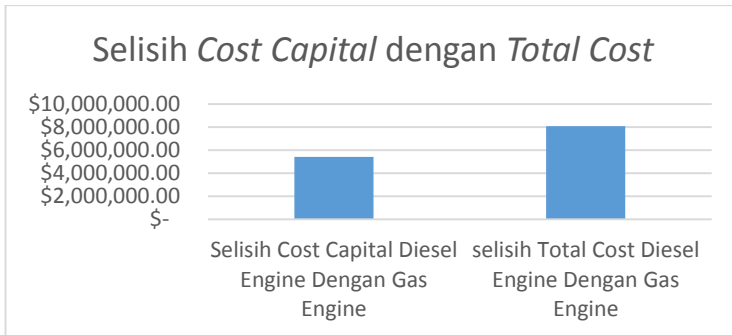
17	2,438,366.37	2,082,088.89	356,277.48
18	2,511,517.85	2,144,551.56	366,966.30
19	2,586,863.85	2,208,888.10	377,975.75
20	2,664,470.19	2,275,154.75	389,315.45
21	2,744,404.70	2,343,409.39	400,995.31
22	2,826,737.21	2,413,711.67	413,025.54
23	2,911,539.67	2,486,123.02	425,416.65
24	2,998,886.17	2,560,706.71	438,179.46
25	3,088,853.03	2,637,527.91	451,325.12



Gambar 4.10 Grafik Total Cost

Dari perhitungan di atas kita dapat melihat selisih dari *total cost* masing-masing sistem permesinan yang terpakai sehingga jika ditotal selama 25 tahun operasional tersebut adalah \$ 8.094.637

Dari hasil perhitungan tersebut diperoleh biaya yang tersimpan senilai \$ 8.094.637 sehingga jika dikurangkan ke *capital cost* untuk sistem permesinan *gas engine* akan memperoleh keuntungan senilai \$ 2.679.805. Hal ini dapat dilihat pada tabel berikut.



Gambar 4.11 Grafik Selisih *Cost Capital* dengan *Total Cost*

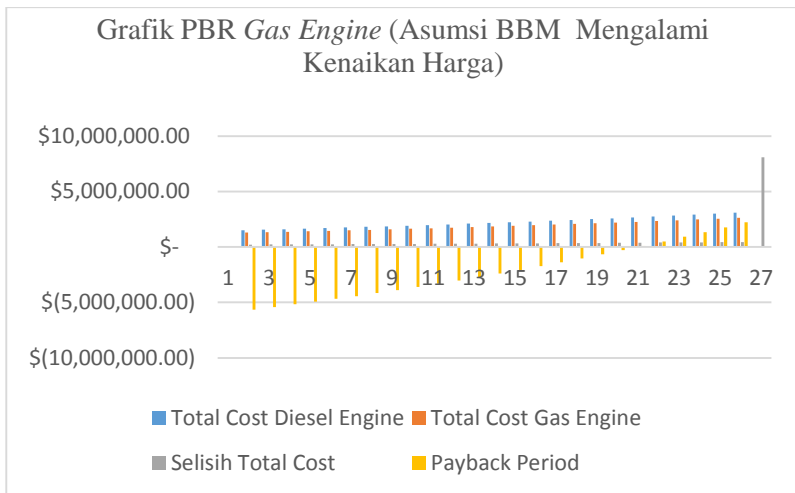
4.2.3. *Payback Period* Bahan Bakar Gas

Hal yang dilakukan setelah semua cost telah dihitung adalah menghitung *payback period* sistem permesinan *gas engine* seperti terdapat pada Tabel 4.12 berikut ini.

Tabel 4.12 *Payback Period* (Harga HSD & LNG \$3 Naik 3% per Tahun)

Tahun Ke	Selisih Total Cost	Payback Period
1	\$ 222,010.75	\$ (5,636,842.75)
2	\$ 228,672.05	\$ (5,408,170.71)
Tahun Ke	Selisih Total Cost	Payback Period
3	\$ 235,533.15	\$ (5,172,637.56)
4	\$ 242,600.05	\$ (4,930,037.51)
5	\$ 249,878.93	\$ (4,680,158.57)
6	\$ 257,376.15	\$ (4,422,782.42)
7	\$ 265,098.26	\$ (4,157,684.16)

8	\$ 273,052.00	\$ (3,884,632.17)
9	\$ 281,244.31	\$ (3,603,387.85)
10	\$ 289,682.37	\$ (3,313,705.48)
11	\$ 298,373.55	\$ (3,015,331.93)
12	\$ 307,325.42	\$ (2,708,006.51)
13	\$ 316,545.82	\$ (2,391,460.68)
14	\$ 326,042.81	\$ (2,065,417.88)
15	\$ 335,824.67	\$ (1,729,593.20)
16	\$ 345,899.96	\$ (1,383,693.24)
17	\$ 356,277.48	\$ (1,027,415.76)
18	\$ 366,966.30	\$ (660,449.46)
19	\$ 377,975.75	\$ (282,473.71)
20	\$ 389,315.45	\$ 106,841.74
21	\$ 400,995.31	\$ 507,837.05
22	\$ 413,025.54	\$ 920,862.59
23	\$ 425,416.65	\$ 1,346,279.24
24	\$ 438,179.46	\$ 1,784,458.69
25	\$ 451,325.12	\$ 2,235,783.81



Gambar 4.12 Grafik PBR Gas Engine

Payback period untuk kondisi kapal *tug boat* berbahan bakar gas (LNG) dari gambar grafik 4.12 diatas dapat dilihat bahwa *payback period gas engine* pada tahun ke-20 sudah bisa memperoleh keuntungan sebesar \$ 328.853. Pada tahun yang sama, dengan total keuntungan sampai tahun ke-25 adalah sebesar \$ \$ 2.679.805.

4.2.3.A. Total Cost Tanpa Asumsi Kenaikan Harga

Dalam penelitian ini juga akan dihitung *total cost* yang dibutuhkan sama seperti perhitungan diatas, Berikut di bawah ini adalah tabel total biaya operasional *diesel engine* namun tanpa mengasumsikan kenaikan bahan bakar, *maintenance* dan *oil lubricating*.

Tabel 4.13 Total Biaya Operasional *Diesel Engine* (Tanpa Asumsi Kenaikan Harga per Tahun)

Tahun Ke	Total Cost Diesel Engine (\$)	Fuel (\$)	LO (\$)	Total Cost (\$)
1	717,334.48	1,468,117.06	51,381.66	1,519,499.71
2	717,334.48	1,468,117.06	51,381.66	1,519,499.71
3	717,334.48	1,468,117.06	51,381.66	1,519,499.71
4	717,334.48	1,468,117.06	51,381.66	1,519,499.71
5	717,334.48	1,468,117.06	51,381.66	1,519,499.71
6	717,334.48	1,468,117.06	51,381.66	1,519,499.71
7	717,334.48	1,468,117.06	51,381.66	1,519,499.71
8	717,334.48	1,468,117.06	51,381.66	1,519,499.71
9	717,334.48	1,468,117.06	51,381.66	1,519,499.71
10	717,334.48	1,468,117.06	51,381.66	1,519,499.71
11	717,334.48	1,468,117.06	51,381.66	1,519,499.71
12	717,334.48	1,468,117.06	51,381.66	1,519,499.71
13	717,334.48	1,468,117.06	51,381.66	1,519,499.71
14	717,334.48	1,468,117.06	51,381.66	1,519,499.71
15	717,334.48	1,468,117.06	51,381.66	1,519,499.71
16	717,334.48	1,468,117.06	51,381.66	1,519,499.71

Tahun Ke	Total Cost Diesel Engine (\$)	Fuel (\$)	LO (\$)	Total Cost (\$)
17	717,334.48	1,468,117.06	51,381.66	1,519,499.71
18	717,334.48	1,468,117.06	51,381.66	1,519,499.71
19	717,334.48	1,468,117.06	51,381.66	1,519,499.71
20	717,334.48	1,468,117.06	51,381.66	1,519,499.71
21	717,334.48	1,468,117.06	51,381.66	1,519,499.71
22	717,334.48	1,468,117.06	51,381.66	1,519,499.71
23	717,334.48	1,468,117.06	51,381.66	1,519,499.71
24	717,334.48	1,468,117.06	51,381.66	1,519,499.71
25	717,334.48	1,468,117.06	51,381.66	1,519,499.71

Berikut di bawah ini adalah tabel total biaya operasional *gas engine* namun tanpa mengasumsikan kenaikan bahan bakar gas (LNG), *maintenance* dan *oil lubricating* tiap tahunnya.

Tabel 4.14 Total Biaya Operasional *Gas Engine* (\$3 LNG Tanpa Asumsi Kenaikan Harga per Tahun)

Tahun Ke	Total Cost Diesel Engine (\$)	Fuel (\$)	LO (\$)	Total Cost (\$)
1	863,677.22	379,578.65	54,233.09	1,297,488.96
2	863,677.22	379,578.65	54,233.09	1,297,488.96
3	863,677.22	379,578.65	54,233.09	1,297,488.96
4	863,677.22	379,578.65	54,233.09	1,297,488.96
5	863,677.22	379,578.65	54,233.09	1,297,488.96

Tahun Ke	Total Cost Diesel Engine (\$)	Fuel (\$)	LO (\$)	Total Cost (\$)
6	863,677.22	379,578.65	54,233.09	1,297,488.96
7	863,677.22	379,578.65	54,233.09	1,297,488.96
8	863,677.22	379,578.65	54,233.09	1,297,488.96
9	863,677.22	379,578.65	54,233.09	1,297,488.96
10	863,677.22	379,578.65	54,233.09	1,297,488.96
11	863,677.22	379,578.65	54,233.09	1,297,488.96
12	863,677.22	379,578.65	54,233.09	1,297,488.96
13	863,677.22	379,578.65	54,233.09	1,297,488.96
14	863,677.22	379,578.65	54,233.09	1,297,488.96
15	863,677.22	379,578.65	54,233.09	1,297,488.96
16	863,677.22	379,578.65	54,233.09	1,297,488.96
17	863,677.22	379,578.65	54,233.09	1,297,488.96
18	863,677.22	379,578.65	54,233.09	1,297,488.96
19	863,677.22	379,578.65	54,233.09	1,297,488.96
20	863,677.22	379,578.65	54,233.09	1,297,488.96
21	863,677.22	379,578.65	54,233.09	1,297,488.96
22	863,677.22	379,578.65	54,233.09	1,297,488.96
23	863,677.22	379,578.65	54,233.09	1,297,488.96
24	863,677.22	379,578.65	54,233.09	1,297,488.96
25	863,677.22	379,578.65	54,233.09	1,297,488.96

Dari perhitungan semua cost yang telah dilakukan selanjutnya menghitung *payback period* sistem permesinan *gas engine* seperti terdapat pada Tabel 4.15 berikut.

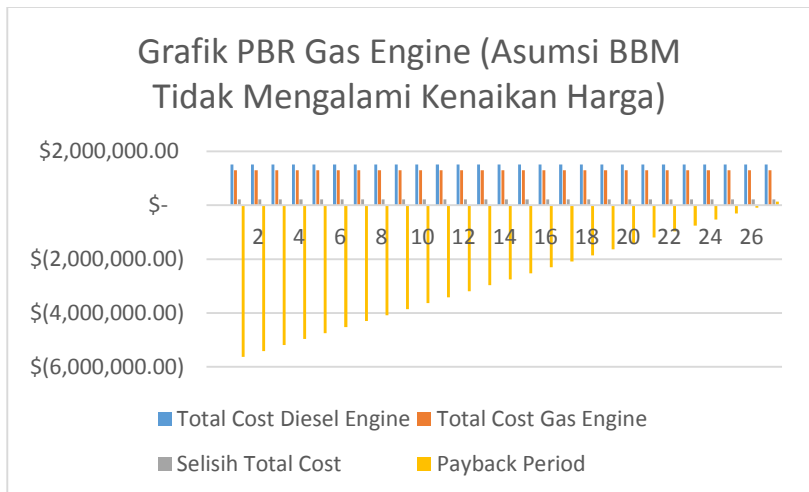
Tabel 4.15 Tabel *Payback Period* (Asumsi HSD & LNG di Harga \$3 Tanpa Mengalami Kenaikan per Tahun)

Tahun Ke	Selisih Total Cost	Payback Period
1	\$ 222,010.75	\$ (5,192,821.25)
2	\$ 222,010.75	\$ (4,970,809.49)
3	\$ 222,010.75	\$ (4,748,796.74)
4	\$ 222,010.75	\$ (4,526,782.98)
5	\$ 222,010.75	\$ (4,304,768.23)
6	\$ 222,010.75	\$ (4,082,752.47)
7	\$ 222,010.75	\$ (3,860,735.72)
8	\$ 222,010.75	\$ (3,638,717.96)
9	\$ 222,010.75	\$ (3,416,699.21)
10	\$ 222,010.75	\$ (3,194,679.45)
11	\$ 222,010.75	\$ (2,972,658.70)
12	\$ 222,010.75	\$ (2,750,636.95)
13	\$ 222,010.75	\$ (2,528,614.19)
14	\$ 222,010.75	\$ (2,306,590.44)
15	\$ 222,010.75	\$ (2,084,565.68)
16	\$ 222,010.75	\$ (1,862,539.93)
17	\$ 222,010.75	\$ (1,640,513.17)
18	\$ 222,010.75	\$ (1,418,485.42)

Tahun Ke	Selisih Total Cost	Payback Period
19	\$ 222,010.75	\$ (1,196,456.66)
20	\$ 222,010.75	\$ (974,426.91)
21	\$ 222,010.75	\$ (752,396.15)
22	\$ 222,010.75	\$ (530,366.40)
23	\$ 222,010.75	\$ (308,331.65)
24	\$ 222,010.75	\$ (86,297.89)
25	\$ 222,010.75	\$ 135,736.86

Dari dua tabel perhitungan diatas, selanjutnya akan dihitung PBR dari perbandingan system permesinan diesel dan *gas engine*

Dibawah ini adalah grafik PBR dengan asumsi harga BBM (HSD dan harga (LNG) tidak mengalami kenaikan per tahunnya.



Gambar 4.13 Grafik PBR Gas Engine

4.2.3.B. Perbandingan dengan Rate Deposito

Pada subbab ini akan menghitung besarnya biaya yang didapat dari deposito bank. Jika seandainya selisih *cost of capital* diatas tersebut akan disimpan di bank dan akan dibandingkan dengan keuntungan yang didapat setelah menginvestasikan modal tersebut untuk sistem permesinan *gas engine*. Pada perhitungan ini akan disesuaikan dengan suku bunga deposito bank pada saat ini yaitu 0.50% (Bunga untuk deposit dalam kurs mata uang US \$)

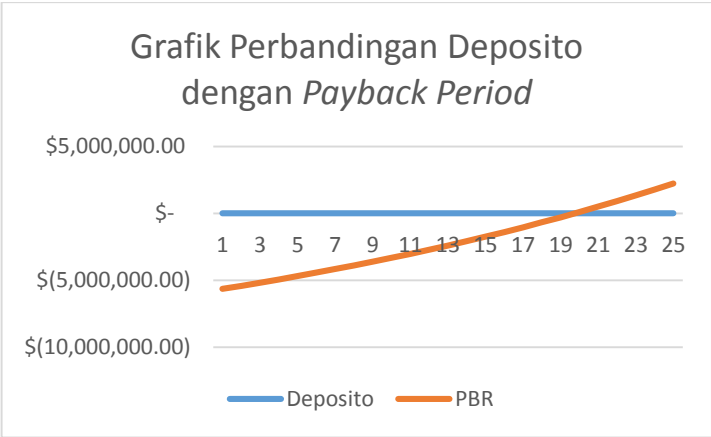
Tabel 4.16 Total Deposito (Bunga Bank Mata Uang \$ 0.50%)

Tahun Ke	Deposito (\$)	Payback Period (\$)
1	27,074.16	(5,636,842.75)
2	27,141.85	(5,408,170.71)
3	27,209.70	(5,172,637.56)
4	27,277.72	(4,930,037.51)
5	27,345.92	(4,680,158.57)
6	27,414.28	(4,422,782.42)
7	27,482.82	(4,157,684.16)
8	27,551.53	(3,884,632.17)
9	27,620.40	(3,603,387.85)
10	27,689.46	(3,313,705.48)
11	27,758.68	(3,015,331.93)
12	27,828.08	(2,708,006.51)
13	27,897.65	(2,391,460.68)
14	27,967.39	(2,065,417.88)

Tahun Ke	Deposito (\$)	Payback Period (\$)
15	28,037.31	(1,729,593.20)
16	28,107.40	(1,383,693.24)
17	28,177.67	(1,027,415.76)
18	28,248.12	(660,449.46)
19	28,318.74	(282,473.71)
20	28,389.53	106,841.74
21	28,460.51	507,837.05
22	28,531.66	920,862.59
23	28,602.99	1,346,279.24
24	28,674.49	1,784,458.69
25	28,746.18	2,235,783.81

Dari tabel perhitungan diatas, selanjutnya akan dihitung PBR dari penggunaan sistem permesinan *gas engine* dengan bunga bank deposito saat ini yang berada di kisaran 0.50% jika deposito dilakukan dalam kurs mata uang US \$

Dibawah ini adalah grafik PBR PBR dari penggunaan sistem permesinan *gas engine* dengan bunga bank deposito saat ini yang berada di kisaran 0.50%.



Gambar 4.14 Grafik Perbandingan Deposito dengan PBR
Asumsi Kenaikan Harga BBM 3% per Tahun

(halaman ini sengaja dikosongkan)

Features

- compact and powerful
- exceptionally low emissions of NO_x, CO₂, SO_x and particulate
- low energy consumption
- service friendly
- optimum response at all engine load points (Variable Turbo Geometry)
- super silent resilient mounting
- stable frequency
- 24/7 support by Rolls-Royce global service network

Choose Rolls-Royce engines for cost-effective operation.

For more than sixty years of operation, we have produced four stroke medium speed engines for marine propulsion, generating set and power generation to customers world wide.



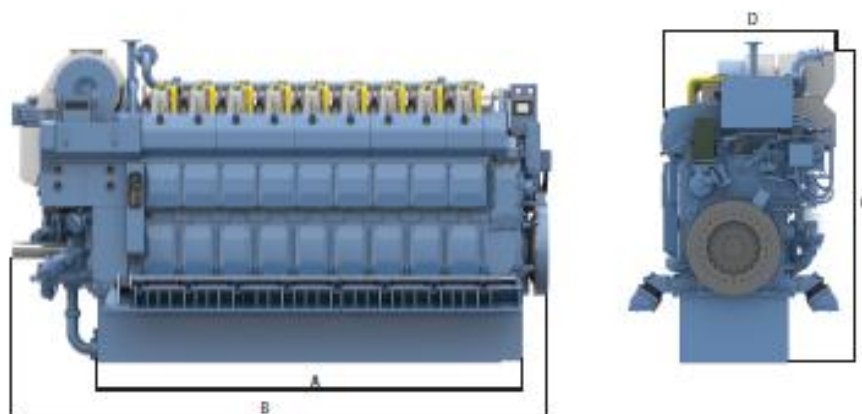
Technical data for the Rolls-Royce C-engine at 900 - 1000 rpm

Engine type		C26:33L6PG	C26:33L8PG ¹	C26:33L9PG
Number of cylinders		6	8	9
Engine speed	r/min	900/1000	900/1000	900/1000
Mean piston speed	m/s	10/11	10/11	10/11
Max. continuous rating	(MCR) kW	1460/1620	1940/2160	2190/2430
Mean effective pressure	(IMEP) bar	18.5	18.5	18.5
Specific energy consumption	kJ/kWh	7450/7500	7450/7500	7450/7500
Specific lubricating oil consumption	g/kWh	0.4	0.4	0.4
Cooling water temp. engine outlet	°C	90	90	90

The performance data is based on

Marine gas engine ratings are according to ISO 3046-1, at maximum 45°C ambient air temperature and maximum 32°C sea water temperature. Specific fuel gas consumption including engine driven pumps is based on reference natural gas with Methane number above 70 and net caloric value of 36 MJ/m³.

If there are engine driven pumps, add 0.5% for each pump. Gas feed temperature is 30-40°C. Minimum gas feed pressure to Gas Regulating Unit to be 4.5 barg.



Principal dimensions

Cylinder dia. 260 mm. Piston stroke 130 mm.

All dimensions in mm.

Engine type	A	B	C	D	Weight dry engine
C26:33L6PG	3170	4036	3195	1748	17500 kg
C26:33L8PG	3930	4796	3195	1748	20700 kg
C26:33L9PG	4310	5176	3230	1842	23900 kg

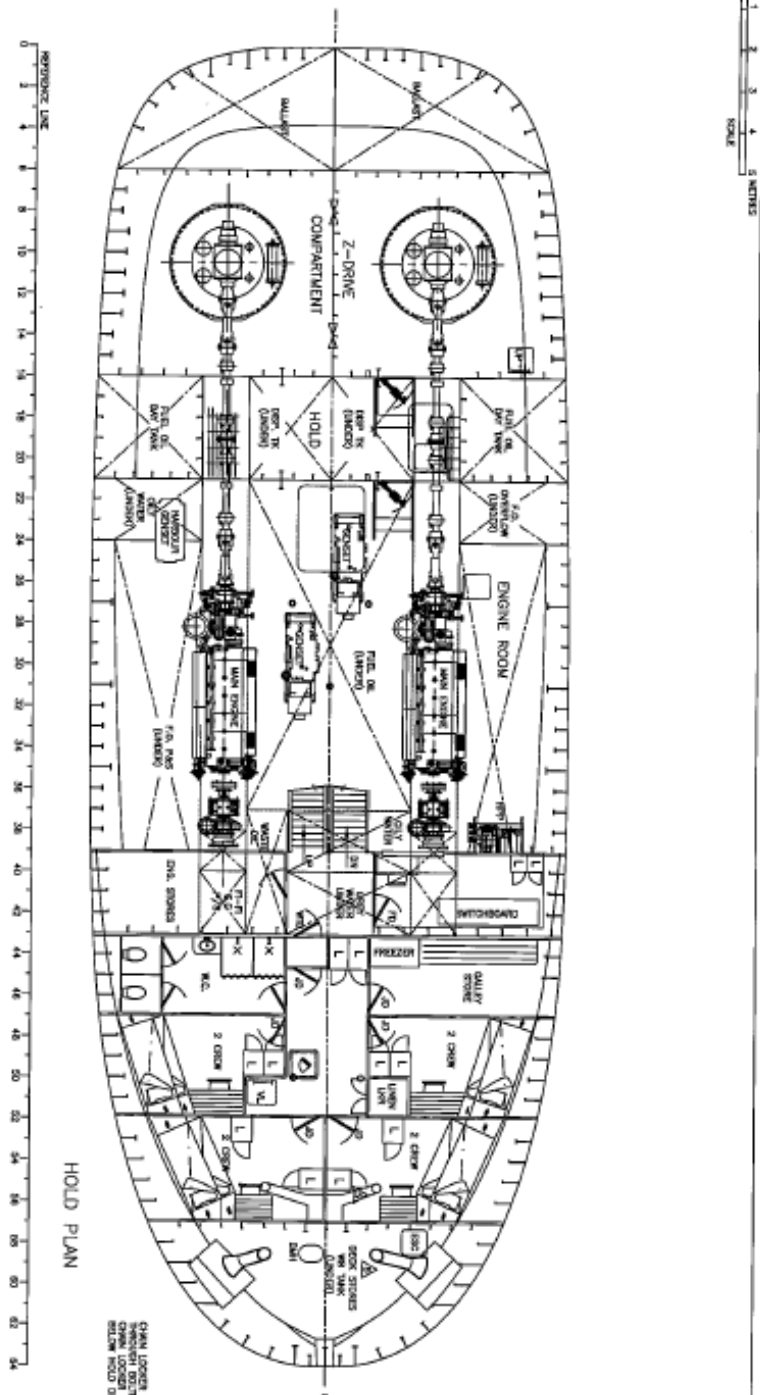
PRINCIPAL PARTICULARS

01) Type	Vertical, single acting, 4-valves, 4-cycle, trunk piston type with turbo charger and charged air cooler.
02) Model	NIIGATA 6L28HX
03) Maximum continuous rating	1838 kW (2500 PS) at flywheel end (Hereinafter called as MCR)
04) Rated speed	750 min ⁻¹
05) Idling speed	400 min ⁻¹
06) Over load rating	110% MCR for 1 hour every 12 hours period.
07) Number of cylinder	6 (In-line)
08) Cylinder bore	280 mm
09) Piston stroke	370 mm
10) Max. combustion pressure	14.7 MPa or below
11) Brake mean effective pressure	2.151 MPa at MCR
12) Mean piston speed	9.25 m / s at MCR
13) Fuel supply system	Feed pump driven by engine
14) Fuel injection system	Solid direct injection
15) Lubricating system	Forced lubrication (Wet sump operation)
Recommended volume	Approx. 600 liter / engine (Excluding oil in cooler / filter / piping)
16) Starting system	Compressed air starting 3.0 MPa (30 kg/cm ²)
17) Cooling system	
Piston	With lube. oil (system oil)
Turbo charger	Non cooling type
Charged air cooler	With sea water
Lube. oil cooler	With sea water
Fresh water cooler	With sea water
Fuel injection valve	Non cooling type
Cylinder jacket & head	With fresh water
18) Fuel oil	Marine diesel oil or Gas oil Corresponding to the following standards, ISO 8217, F-DMX and F-DMA ASTM D975, Grade No.1-D and Grade No.2-D
19) Lubricating oil	Corresponding to SAE # 40
20) Flywheel turning device	Ratchet gear with turning bar
21) Direction of rotation	(View from flywheel / output side of engine) Port engine Clockwise Starboard engine Clockwise
22) Dry mass	Approx. 16.0 tons / unit
23) Installation method	Rigid installation with chockdast
24) Inclination of installation	Max. 5 degrees (Down to bow side)

SPECIFIC FUEL OIL CONSUMPTION

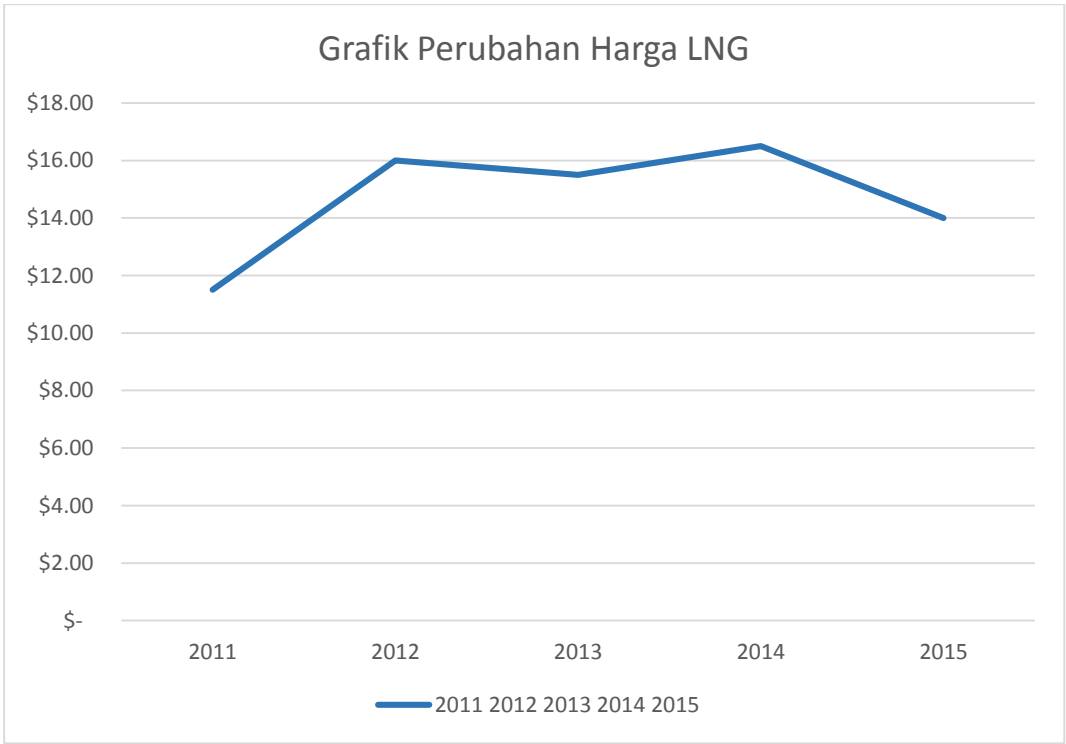
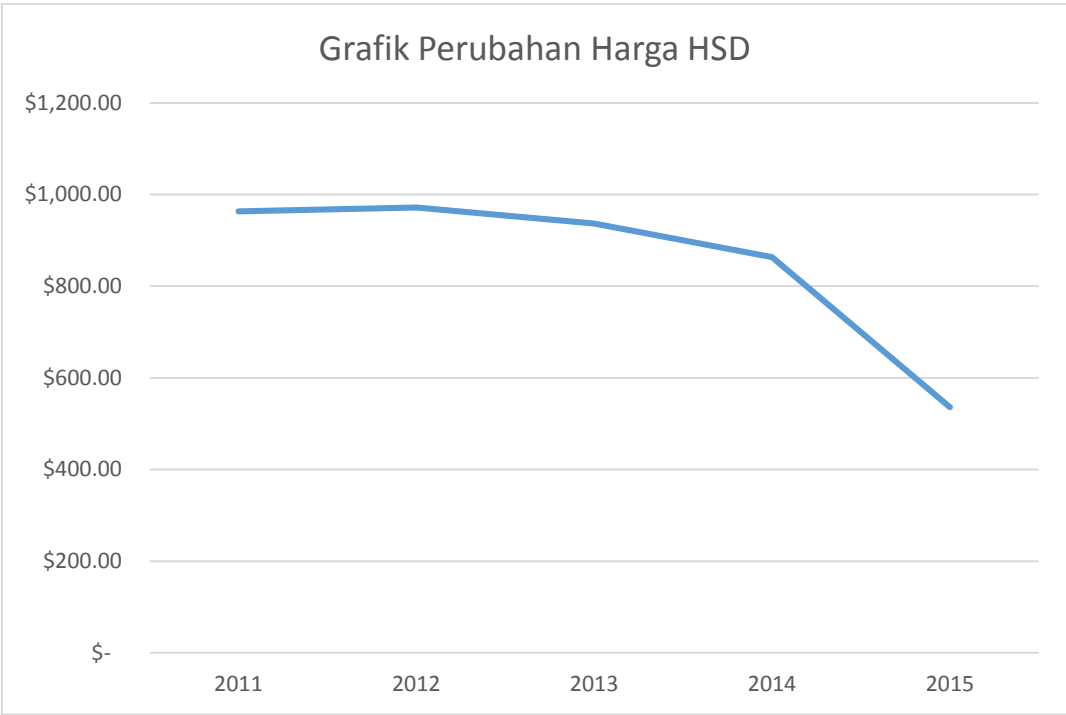
When fuel oil corresponding to 42.7 MJ/kg, net calorific value is used, the specified consumption is less than 193 g/kW-hr.

- 01) Subject to a tolerance of 3 % on the test operation.
- 02) Subject to be burned with marine diesel oil.
- 03) Engine load to be MCR and measured at crankshaft end (flywheel).
- 04) Subject to driving one (1) lube. oil pump, two (2) water pumps and (1) fuel feed pump.
- 05) At ISO conditions.
- 06) Excluding leakage and treated losses, if any.



KLP DOC NO.	V-2155-104-A-8200_10
COMPANY DOC NO.	080-V08-PM-18200

TITLE			
GENERAL ARRANGEMENT			
DATE	PROJECT NO.	SHEET NO.	SHEET
11/125	210-004	30000	OF 4
ROBERT ALLAN LTD.			5



Tahun Ke	Kenaikan 3% HSD
1	\$ 1,468,117.06
2	\$ 1,512,160.57
3	\$ 1,557,525.39
4	\$ 1,604,251.15
5	\$ 1,652,378.68
6	\$ 1,701,950.04
7	\$ 1,753,008.54
8	\$ 1,805,598.80
9	\$ 1,859,766.76
10	\$ 1,915,559.77
11	\$ 1,973,026.56
12	\$ 2,032,217.36
13	\$ 2,093,183.88
14	\$ 2,155,979.39
15	\$ 2,220,658.78
16	\$ 2,287,278.54
17	\$ 2,355,896.89
18	\$ 2,426,573.80
19	\$ 2,499,371.02
20	\$ 2,574,352.15
21	\$ 2,651,582.71
22	\$ 2,731,130.19
23	\$ 2,813,064.10
24	\$ 2,897,456.02
25	\$ 2,984,379.70

Tahun Ke	Kenaikan 3% LNG (\$3)		Kenaikan 3% LNG (\$4)
1	\$ 379,578.65		\$ 506,104.87
2	\$ 390,966.01		\$ 521,288.02
3	\$ 402,694.99		\$ 536,926.66
4	\$ 414,775.84		\$ 553,034.46
5	\$ 427,219.12		\$ 569,625.49
6	\$ 440,035.69		\$ 586,714.26
7	\$ 453,236.76		\$ 604,315.68
8	\$ 466,833.87		\$ 622,445.16
9	\$ 480,838.88		\$ 641,118.51
10	\$ 495,264.05		\$ 660,352.07
11	\$ 510,121.97		\$ 680,162.63
12	\$ 525,425.63		\$ 700,567.51
13	\$ 541,188.40		\$ 721,584.53
14	\$ 557,424.05		\$ 743,232.07
15	\$ 574,146.77		\$ 765,529.03
16	\$ 591,371.17		\$ 788,494.90
17	\$ 609,112.31		\$ 812,149.75
18	\$ 627,385.68		\$ 836,514.24
19	\$ 646,207.25		\$ 861,609.67
20	\$ 665,593.47		\$ 887,457.96
21	\$ 685,561.27		\$ 914,081.70
22	\$ 706,128.11		\$ 941,504.15
23	\$ 727,311.95		\$ 969,749.27
24	\$ 749,131.31		\$ 998,841.75
25	\$ 771,605.25		\$ 1,028,807.00

Tahun Ke	Kenaikan 3% LNG (\$5)		Kenaikan 3% LNG (\$6)
1	\$ 632,631.09		\$ 759,157.31
2	\$ 651,610.02		\$ 781,932.03
3	\$ 671,158.32		\$ 805,389.99
4	\$ 691,293.07		\$ 829,551.69
5	\$ 712,031.87		\$ 854,438.24
6	\$ 733,392.82		\$ 880,071.39
7	\$ 755,394.61		\$ 906,473.53
8	\$ 778,056.44		\$ 933,667.73
9	\$ 801,398.14		\$ 961,677.76
10	\$ 825,440.08		\$ 990,528.10
11	\$ 850,203.28		\$ 1,020,243.94
12	\$ 875,709.38		\$ 1,050,851.26
13	\$ 901,980.66		\$ 1,082,376.80
14	\$ 929,040.08		\$ 1,114,848.10
15	\$ 956,911.29		\$ 1,148,293.54
16	\$ 985,618.62		\$ 1,182,742.35
17	\$ 1,015,187.18		\$ 1,218,224.62
18	\$ 1,045,642.80		\$ 1,254,771.36
19	\$ 1,077,012.08		\$ 1,292,414.50
20	\$ 1,109,322.45		\$ 1,331,186.93
21	\$ 1,142,602.12		\$ 1,371,122.54
22	\$ 1,176,880.18		\$ 1,412,256.22
23	\$ 1,212,186.59		\$ 1,454,623.91
24	\$ 1,248,552.19		\$ 1,498,262.62
25	\$ 1,286,008.75		\$ 1,543,210.50

Tahun Ke	Kenaikan 3% LNG (\$7)		Kenaikan 3% LNG (\$8)
1	\$ 885,683.53		\$ 1,001,086.56
2	\$ 912,254.03		\$ 1,031,119.16
3	\$ 939,621.65		\$ 1,062,052.73
4	\$ 967,810.30		\$ 1,093,914.31
5	\$ 996,844.61		\$ 1,126,731.74
6	\$ 1,026,749.95		\$ 1,160,533.70
7	\$ 1,057,552.45		\$ 1,195,349.71
8	\$ 1,089,279.02		\$ 1,231,210.20
9	\$ 1,121,957.39		\$ 1,268,146.50
10	\$ 1,155,616.11		\$ 1,306,190.90
11	\$ 1,190,284.60		\$ 1,345,376.63
12	\$ 1,225,993.14		\$ 1,385,737.92
13	\$ 1,262,772.93		\$ 1,427,310.06
14	\$ 1,300,656.12		\$ 1,470,129.36
15	\$ 1,339,675.80		\$ 1,514,233.24
16	\$ 1,379,866.07		\$ 1,559,660.24
17	\$ 1,421,262.06		\$ 1,606,450.05
18	\$ 1,463,899.92		\$ 1,654,643.55
19	\$ 1,507,816.92		\$ 1,704,282.86
20	\$ 1,553,051.42		\$ 1,755,411.34
21	\$ 1,599,642.97		\$ 1,808,073.68
22	\$ 1,647,632.26		\$ 1,862,315.89
23	\$ 1,697,061.22		\$ 1,918,185.37
24	\$ 1,747,973.06		\$ 1,975,730.93
25	\$ 1,800,412.25		\$ 2,035,002.86

Tahun Ke	Harga Pelumas (kenaikan 3%)	Tahun Ke	Harga Pelumas (kenaikan 3%)
1	\$ 51,381.66	14	\$ 75,455.70
2	\$ 52,923.11	15	\$ 77,719.37
3	\$ 54,510.80	16	\$ 80,050.95
4	\$ 56,146.12	17	\$ 82,452.48
5	\$ 57,830.51	18	\$ 84,926.05
6	\$ 59,565.42	19	\$ 87,473.83
7	\$ 61,352.39	20	\$ 90,098.05
8	\$ 63,192.96	21	\$ 92,800.99
9	\$ 65,088.75	22	\$ 95,585.02
10	\$ 67,041.41	23	\$ 98,452.57
11	\$ 69,052.65	24	\$ 101,406.15
12	\$ 71,124.23	25	\$ 104,448.33
13	\$ 73,257.96		

Tahun Ke	Harga Pelumas (kenaikan 3%)	Tahun Ke	Harga Pelumas (kenaikan 3%)
1	\$ 54,233.09	14	\$ 79,643.12
2	\$ 55,860.08	15	\$ 82,032.41
3	\$ 57,535.88	16	\$ 84,493.38
4	\$ 59,261.96	17	\$ 87,028.19
5	\$ 61,039.82	18	\$ 89,639.03
6	\$ 62,871.01	19	\$ 92,328.20
7	\$ 64,757.14	20	\$ 95,098.05
8	\$ 66,699.86	21	\$ 97,950.99
9	\$ 68,700.85	22	\$ 100,889.52
10	\$ 70,761.88	23	\$ 103,916.20
11	\$ 72,884.74	24	\$ 107,033.69
12	\$ 75,071.28	25	\$ 110,244.70
13	\$ 77,323.42		

Tahun Ke	<i>Total Maintenance Cost</i>
1	\$ 717,334.48
2	\$ 738,854.52
3	\$ 761,020.15
4	\$ 783,850.76
5	\$ 807,366.28
6	\$ 831,587.27
7	\$ 856,534.89
8	\$ 882,230.93
9	\$ 908,697.86
10	\$ 935,958.80
11	\$ 964,037.56
12	\$ 992,958.69
13	\$ 1,022,747.45
14	\$ 1,053,429.87
15	\$ 1,085,032.77
16	\$ 1,117,583.75
17	\$ 1,151,111.26
18	\$ 1,185,644.60
19	\$ 1,221,213.94
20	\$ 1,257,850.36
21	\$ 1,295,585.87
22	\$ 1,334,453.44
23	\$ 1,374,487.05
24	\$ 1,415,721.66
25	\$ 1,458,193.31

Tahun Ke	Harga Pelumas (kenaikan 3%)	Tahun Ke	Harga Pelumas (kenaikan 3%)
1	\$ 863,677.22	14	\$ 1,268,339.11
2	\$ 889,587.53	15	\$ 1,306,389.29
3	\$ 916,275.16	16	\$ 1,345,580.96
4	\$ 943,763.42	17	\$ 1,385,948.39
5	\$ 972,076.32	18	\$ 1,427,526.84
6	\$ 1,001,238.61	19	\$ 1,470,352.65
7	\$ 1,031,275.77	20	\$ 1,514,463.23
8	\$ 1,062,214.04	21	\$ 1,559,897.13
9	\$ 1,094,080.46	22	\$ 1,606,694.04
10	\$ 1,126,902.87	23	\$ 1,654,894.86
11	\$ 1,160,709.96	24	\$ 1,704,541.71
12	\$ 1,195,531.26	25	\$ 1,755,677.96
13	\$ 1,231,397.20		

Tahun Ke	Maintenae (\$)	Fuel (\$)	LO (\$)	Total Cost (\$)
1	717,34.48	1,468,117.06	51,381.66	1,519,499.71
2	738,854.52	1,512,160.57	52,923.11	1,565,085.68
3	761,020.15	1,557,525.39	54,510.80	1,612,039.19
4	783,850.76	1,604,251.15	56,146.12	1,660,401.27
5	807,366.28	1,652,378.68	57,830.51	1,710,214.19
6	831,587.27	1,701,950.04	59,565.42	1,761,521.47
7	856,534.89	1,753,008.54	61,352.39	1,814,367.93
8	882,230.93	1,805,598.80	63,192.96	1,868,799.76
9	908,697.86	1,859,766.76	65,088.75	1,924,864.51
10	935,958.80	1,915,559.77	67,041.41	1,982,611.18
11	964,037.56	1,973,026.56	69,052.65	2,042,090.21
12	992,958.69	2,032,217.36	71,124.23	2,103,353.59
13	1,022,747.45	2,093,183.88	73,257.96	2,166,454.83
14	1,053,429.87	2,155,979.39	75,455.70	2,231,449.09
15	1,085,032.77	2,220,658.78	77,719.37	2,298,393.14
16	1,117,583.75	2,287,278.54	80,050.95	2,367,345.49
17	1,151,111.26	2,355,896.89	82,452.48	2,438,366.37
18	1,185,644.60	2,426,573.80	84,926.05	2,511,517.85
19	1,221,213.94	2,499,371.02	87,473.83	2,586,863.85
20	1,257,850.36	2,574,352.15	90,098.05	2,664,470.19
21	1,295,585.87	2,651,582.71	92,800.99	2,744,404.70
22	1,334,453.44	2,731,130.19	95,585.02	2,826,737.21
23	1,374,487.05	2,813,064.10	98,452.57	2,911,539.67
24	1,415,721.66	2,897,456.02	101,406.15	2,998,886.17
25	1,458,193.31	2,984,379.70	104,448.33	3,088,853.03

Tahun Ke	Maintenance (\$)	Fuel (\$)	LO (\$)	Total Cost (\$)
1	863,677.22	379,578.65	54,233.09	1,297,488.96
2	889,587.53	390,966.01	55,860.08	1,336,413.63
3	916,275.16	402,694.99	57,535.88	1,376,506.04
4	943,763.42	414,775.84	59,261.96	1,417,801.22
5	972,076.32	427,219.12	61,039.82	1,460,335.26
6	1,001,238.61	440,035.69	62,871.01	1,504,145.31
7	1,031,275.77	453,236.76	64,757.14	1,549,269.67
8	1,062,214.04	466,833.87	66,699.86	1,595,747.76
9	1,094,080.46	480,838.88	68,700.85	1,643,620.20
10	1,126,902.87	495,264.05	70,761.88	1,692,928.80
11	1,160,709.96	510,121.97	72,884.74	1,743,716.67
12	1,195,531.26	525,425.63	75,071.28	1,796,028.17
13	1,231,397.20	541,188.40	77,323.42	1,849,909.01
14	1,268,339.11	557,424.05	79,643.12	1,905,406.28
15	1,306,389.29	574,146.77	82,032.41	1,962,568.47
16	1,345,580.96	591,371.17	84,493.38	2,021,445.52
17	1,385,948.39	609,112.31	87,028.19	2,082,088.89
18	1,427,526.84	627,385.68	89,639.03	2,144,551.56
19	1,470,352.65	646,207.25	92,328.20	2,208,888.10
20	1,514,463.23	665,593.47	95,098.05	2,275,154.75
21	1,559,897.13	685,561.27	97,950.99	2,343,409.39
22	1,606,694.04	706,128.11	100,889.52	2,413,711.67
23	1,654,894.86	727,311.95	103,916.20	2,486,123.02
24	1,704,541.71	749,131.31	107,033.69	2,560,706.71
25	1,755,677.96	771,605.25	110,244.70	2,637,527.91

Tahun Ke	Total Cost Diesel Engine (\$)	Total Cost Gas Engine (\$)	Selisih Total Cost (\$)
1	1,519,499.71	1,297,488.96	222,010.75
2	1,565,085.68	1,336,413.63	228,672.05
3	1,612,039.19	1,376,506.04	235,533.15
4	1,660,401.27	1,417,801.22	242,600.05
5	1,710,214.19	1,460,335.26	249,878.93
6	1,761,521.47	1,504,145.31	257,376.15
7	1,814,367.93	1,549,269.67	265,098.26
8	1,868,799.76	1,595,747.76	273,052.00
9	1,924,864.51	1,643,620.20	281,244.31
10	1,982,611.18	1,692,928.80	289,682.37
11	2,042,090.21	1,743,716.67	298,373.55
12	2,103,353.59	1,796,028.17	307,325.42
13	2,166,454.83	1,849,909.01	316,545.82
14	2,231,449.09	1,905,406.28	326,042.81
15	2,298,393.14	1,962,568.47	335,824.67
16	2,367,345.49	2,021,445.52	345,899.96
17	2,438,366.37	2,082,088.89	356,277.48
18	2,511,517.85	2,144,551.56	366,966.30
19	2,586,863.85	2,208,888.10	377,975.75
20	2,664,470.19	2,275,154.75	389,315.45
21	2,744,404.70	2,343,409.39	400,995.31
22	2,826,737.21	2,413,711.67	413,025.54
23	2,911,539.67	2,486,123.02	425,416.65
24	2,998,886.17	2,560,706.71	438,179.46
25	3,088,853.03	2,637,527.91	451,325.12

Tahun Ke	Selisih Total Cost	Payback Period
1	\$ 222,010.75	\$ (5,636,842.75)
2	\$ 228,672.05	\$ (5,408,170.71)
3	\$ 235,533.15	\$ (5,172,637.56)
4	\$ 242,600.05	\$ (4,930,037.51)
5	\$ 249,878.93	\$ (4,680,158.57)
6	\$ 257,376.15	\$ (4,422,782.42)
7	\$ 265,098.26	\$ (4,157,684.16)
8	\$ 273,052.00	\$ (3,884,632.17)
9	\$ 281,244.31	\$ (3,603,387.85)
10	\$ 289,682.37	\$ (3,313,705.48)
11	\$ 298,373.55	\$ (3,015,331.93)
12	\$ 307,325.42	\$ (2,708,006.51)
13	\$ 316,545.82	\$ (2,391,460.68)
14	\$ 326,042.81	\$ (2,065,417.88)
15	\$ 335,824.67	\$ (1,729,593.20)
16	\$ 345,899.96	\$ (1,383,693.24)
17	\$ 356,277.48	\$ (1,027,415.76)
18	\$ 366,966.30	\$ (660,449.46)
19	\$ 377,975.75	\$ (282,473.71)
20	\$ 389,315.45	\$ 106,841.74
21	\$ 400,995.31	\$ 507,837.05
22	\$ 413,025.54	\$ 920,862.59
23	\$ 425,416.65	\$ 1,346,279.24
24	\$ 438,179.46	\$ 1,784,458.69
25	\$ 451,325.12	\$ 2,235,783.81

Tahun Ke	Total Cost Diesel Engine (\$)	Fuel (\$)	LO (\$)	Total Cost (\$)
1	717,334.48	1,468,117.06	51,381.66	1,519,499.71
2	717,334.48	1,468,117.06	51,381.66	1,519,499.71
3	717,334.48	1,468,117.06	51,381.66	1,519,499.71
4	717,334.48	1,468,117.06	51,381.66	1,519,499.71
5	717,334.48	1,468,117.06	51,381.66	1,519,499.71
6	717,334.48	1,468,117.06	51,381.66	1,519,499.71
7	717,334.48	1,468,117.06	51,381.66	1,519,499.71
8	717,334.48	1,468,117.06	51,381.66	1,519,499.71
9	717,334.48	1,468,117.06	51,381.66	1,519,499.71
10	717,334.48	1,468,117.06	51,381.66	1,519,499.71
11	717,334.48	1,468,117.06	51,381.66	1,519,499.71
12	717,334.48	1,468,117.06	51,381.66	1,519,499.71
13	717,334.48	1,468,117.06	51,381.66	1,519,499.71
14	717,334.48	1,468,117.06	51,381.66	1,519,499.71
15	717,334.48	1,468,117.06	51,381.66	1,519,499.71
16	717,334.48	1,468,117.06	51,381.66	1,519,499.71
17	717,334.48	1,468,117.06	51,381.66	1,519,499.71
18	717,334.48	1,468,117.06	51,381.66	1,519,499.71
19	717,334.48	1,468,117.06	51,381.66	1,519,499.71
20	717,334.48	1,468,117.06	51,381.66	1,519,499.71
21	717,334.48	1,468,117.06	51,381.66	1,519,499.71
22	717,334.48	1,468,117.06	51,381.66	1,519,499.71
23	717,334.48	1,468,117.06	51,381.66	1,519,499.71
24	717,334.48	1,468,117.06	51,381.66	1,519,499.71
25	717,334.48	1,468,117.06	51,381.66	1,519,499.71

Tahun Ke	Total Cost Diesel Engine (\$)	Fuel (\$)	LO (\$)	Total Cost (\$)
1	863,677.22	379,578.65	54,233.09	1,297,488.96
2	863,677.22	379,578.65	54,233.09	1,297,488.96
3	863,677.22	379,578.65	54,233.09	1,297,488.96
4	863,677.22	379,578.65	54,233.09	1,297,488.96
5	863,677.22	379,578.65	54,233.09	1,297,488.96
6	863,677.22	379,578.65	54,233.09	1,297,488.96
7	863,677.22	379,578.65	54,233.09	1,297,488.96
8	863,677.22	379,578.65	54,233.09	1,297,488.96
9	863,677.22	379,578.65	54,233.09	1,297,488.96
10	863,677.22	379,578.65	54,233.09	1,297,488.96
11	863,677.22	379,578.65	54,233.09	1,297,488.96
12	863,677.22	379,578.65	54,233.09	1,297,488.96
13	863,677.22	379,578.65	54,233.09	1,297,488.96
14	863,677.22	379,578.65	54,233.09	1,297,488.96
15	863,677.22	379,578.65	54,233.09	1,297,488.96
16	863,677.22	379,578.65	54,233.09	1,297,488.96
17	863,677.22	379,578.65	54,233.09	1,297,488.96
18	863,677.22	379,578.65	54,233.09	1,297,488.96
19	863,677.22	379,578.65	54,233.09	1,297,488.96
20	863,677.22	379,578.65	54,233.09	1,297,488.96
21	863,677.22	379,578.65	54,233.09	1,297,488.96
22	863,677.22	379,578.65	54,233.09	1,297,488.96
23	863,677.22	379,578.65	54,233.09	1,297,488.96
24	863,677.22	379,578.65	54,233.09	1,297,488.96
25	863,677.22	379,578.65	54,233.09	1,297,488.96

Tahun Ke	Selisih Total Cost	Payback Period
1	\$ 222,010.75	\$ (5,192,821.25)
2	\$ 222,010.75	\$ (4,970,809.49)
3	\$ 222,010.75	\$ (4,748,796.74)
4	\$ 222,010.75	\$ (4,526,782.98)
5	\$ 222,010.75	\$ (4,304,768.23)
6	\$ 222,010.75	\$ (4,082,752.47)
7	\$ 222,010.75	\$ (3,860,735.72)
8	\$ 222,010.75	\$ (3,638,717.96)
9	\$ 222,010.75	\$ (3,416,699.21)
10	\$ 222,010.75	\$ (3,194,679.45)
11	\$ 222,010.75	\$ (2,972,658.70)
12	\$ 222,010.75	\$ (2,750,636.95)
13	\$ 222,010.75	\$ (2,528,614.19)
14	\$ 222,010.75	\$ (2,306,590.44)
15	\$ 222,010.75	\$ (2,084,565.68)
16	\$ 222,010.75	\$ (1,862,539.93)
17	\$ 222,010.75	\$ (1,640,513.17)
18	\$ 222,010.75	\$ (1,418,485.42)
19	\$ 222,010.75	\$ (1,196,456.66)
20	\$ 222,010.75	\$ (974,426.91)
21	\$ 222,010.75	\$ (752,396.15)
22	\$ 222,010.75	\$ (530,364.40)
23	\$ 222,010.75	\$ (308,331.65)
24	\$ 222,010.75	\$ (86,297.89)
25	\$ 222,010.75	\$ 135,736.86

Tahun Ke	Deposito (\$)	Payback Period (\$)
1	27,074.16	(5,636,842.75)
2	27,141.85	(5,408,170.71)
3	27,209.70	(5,172,637.56)
4	27,277.72	(4,930,037.51)
5	27,345.92	(4,680,158.57)
6	27,414.28	(4,422,782.42)
7	27,482.82	(4,157,684.16)
8	27,551.53	(3,884,632.17)
9	27,620.40	(3,603,387.85)
10	27,689.46	(3,313,705.48)
11	27,758.68	(3,015,331.93)
12	27,828.08	(2,708,006.51)
13	27,897.65	(2,391,460.68)
14	27,967.39	(2,065,417.88)
15	28,037.31	(1,729,593.20)
16	28,107.40	(1,383,693.24)
17	28,177.67	(1,027,415.76)
18	28,248.12	(660,449.46)
19	28,318.74	(282,473.71)
20	28,389.53	106,841.74
21	28,460.51	507,837.05
22	28,531.66	920,862.59
23	28,602.99	1,346,279.24
24	28,674.49	1,784,458.69
25	28,746.18	2,235,783.81

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian diatas diperoleh beberapa kesimpulan seperti dibawah ini.

1. Analisa Teknis

- ✓ Dari perbedaan merk mesin yang digunakan, mesin memiliki putaran yang berbeda untuk Niigata 750 RPM dan Bergen 900 RPM. Oleh karena itu penggunaan *reduction gear* akan tetap dibutuhkan untuk mesin Bergen untuk menyesuaikan RPM mesinnya.
- ✓ Penambahan LNG *tank storage*.

2. Analisa Ekonomi

- ✓ *Payback period gas engine* terjadi pada tahun ke-20 dan total keuntungan \$ 6.902.063 pada harga LNG di \$3
- ✓ Penggunaan mesin bahan bakar gas masih menjadi pilihan pertama pada *tug boat* ini karena jika dibandingkan dengan mesin bahan bakar diesel masih lebih menguntungkan.

- ✓ Jika dibandingkan dengan bunga deposito, keuntungan investasi pada kapal dengan sistem permesinan gas masih tetap lebih menguntungkan dengan selisih keuntungan antara bunga deposito bank dan investasi pada kapal tug boat senilai \$ 6.204.509 pada harga LNG di \$3
- ✓ Mahalnya peralatan LNG pack membuat *cost of capital* dari permesinan *gas engine* menjadi melonjak jauh dari sistem permesinan yang konvensional (mesin bahan bakar diesel).

3. Dari analisa teknis dan analisa ekonomis diperoleh kesimpulan bahwa penggunaan *gas engine* pada kapal *tug boat* layak untuk dilakukan. Dari analisa teknis, *gas engine* layak dilakukan sebab dari segi keamanan, ruang yang tersedia, dan stabilitas kapal terpenuhi. Sedangkan dari segi keekonomisan, *gas engine* layak dilakukan (dibangun baru) karena profitnya masih lebih menguntungkan apabila dibandingkan dengan bunga simpanan di Bank. Penggunaan mesin berbahan bakar gas pada kapal *tug boat* tidak layak dilakukan jika dari segi teknis dan ekonomis tidak memenuhi kriteria. Namun di atas itu, pilihan menggunakan sistem permesinan *gas engine* masih lebih menguntungkan jika dibandingkan dengan penggunaan sistem permesinan bahan bakar diesel.

DAFTAR PUSTAKA

Anna lee deal, *Liquefied Natural gas as a marine fuel a coser look at TOTE's LNG container ship projects*, NEPI paper, 2013

Alexander harsena, mensonides, *Dual Fuel Electric Propulsion Systems in LNG Shipping*, MPT consultancy 2011

Arteconi A, C. Brandoni, D. Evangelista, and F. Polonara (2010). *Life-Cycle Greenhouse Gas Analysis of LNG as a Heavy Vehicle Fuel in Europe*, Applied Energy, Vol. 87, 2005–2013

Ariffah, F, *Tinjauan Teknis Ekonomis pemakaian dual fuel pada Tug Boat PT. Pelabuhan Indonesia II*, 2014

Dani Appave, *the ILO's Maritime Labour Convention Asia/Pacific Cooperation*, 2006.

D.G.M Watson, *Practical Ship Design Volume I*, 1998

Daniel Delgado, *Feasibility of Dual Fuel Engines in short sea shipping lines*, Universitat Politècnica de Catalunya, 2012

Guðrún Jóna Jónsdóttir, *LNG as ship fuel in Iceland*, Master of Science in Construction Management, 2013

Harry Benford, *The practical application of economics merchant ship design*, Journal of Marine Technology, Society of Naval Architects and Marine Engineers, 1967

J.E Sinor, *Comparison of CNG, and LNG technologies for Transportation Applications*, National Renewable Energy Laboratory, 1992

Jerry herdzik, *LNG as a marine fuel possibilities and problems*, Journal of KONES powertrain and transport, 2011

J warnatz, U maas, R.W. Dibble, Book *Combustion physical and chemical fundamentals, modeling and simulation, experiments, pollutant information* 3rd edition

Md ehsan, Shafiquzzaman bhuiyan, *Dual Fuel Performance of a Small Diesel Engine for Applications with Less Frequent Load Variations*, International Journal of Mechanical & Mechatronics Engineering IJMME-IJENS Vol:09 No:10, 2009

M.mbarawa, B.E. milton, *An Examination of the Maximum Possible Natural Gas Substitution for Diesel Fuel in a Direct Injected Diesel Engine*, R & D Journal, 2005

M. Yamin Jinca, *Transportasi Laut Indonesia*, cetakan ke-1 Agustus 2011

Park, S.C. *Fundamentals of Engineering Economics*, 2nd edition Pearson Education, Cranbury Township, NJ, 2008

Puji Dhian W, *Rancang Bangun Sistem Penginjeksian Gas Pada Modifikasi Dual Fuel Diesel Engine*, 2014

US Environmental Protection Agency,
<http://www.epa.gov.com>

Vladimiri Potopov, *DF integrated propulsion system, and LNGpac, technical development, benefit, and operational experience*, 2012

Bergen, LNG Pac, 2010

Yusaf, Talal F., Al-Atabi, Mushtak Talib Ali., Buttsworth, D, *Engine Performance and Exhaust Gas Emissions Characteristics of (CND/Diesel) Dual-Fuel Engine*, Society of Automotive Engineers Paper No., 2001-01-1808, 2001

Engine price. Diakses pada tanggal 06 juni 2016 dari
<http://www.alibaba.com>

HSD price. Diakses pada tanggal 10 juni 2016 dari
<http://www.Bunkeringindex.com>

Z Drive Propullion. Diakses pada tanggal 01 juni 2016 dari
<http://www.rolls-royce.com/>

BIOGRAFI



Penulis bernama lengkap Erizon Gibson Manurung, ST., lahir di Desa Lumban Siparunggu, Kabupaten Toba Samosir Propinsi Sumatera Utara pada tanggal 10 Mei 1993, merupakan anak ke enam dari enam bersaudara, mempunyai satu orang saudara laki-laki dan 4 orang saudara perempuan. Penulis lahir dari pasangan suami istri Bapak Payaman Manurung dan Ibu Elperia Sitorus. Penulis menyelesaikan pendidikan dasar di SD Negeri 1 Narumaming, Kecamatan Porsea Kabupaten Toba Samosir lulus pada tahun 2005, SMP Negeri 1 Kecamatan Porsea Kabupaten Toba Samosir lulus pada tahun 2008, SMA Kristen Harapan Denpasar lulus pada tahun 2011. Program Sarjana (S1) Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

dengan jurusan Teknik Sistem Perkapalan dan lulus pada tahun 2016.

Dengan ketekunan, motivasi tinggi untuk terus belajar dan berusaha, penulis telah berhasil menyelesaikan pengerjaan tugas skripsi ini. Semoga dengan penulisan tugas akhir ini mampu memberikan kontribusi positif bagi dunia pendidikan.

Akhir kata penulis mengucapkan rasa syukur yang sebesar-besarnya atas terselesaikannya skripsi yang berjudul “***STUDI TEKNIK DAN EKONOMIS PENGGUNAAN GAS ENGINE (LNG) PADA KAPAL TUG BOAT UNTUK OPERASIONAL DI PELABUHAN KHUSUS LNG CARRIER***”.